



industriales

etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de un sistema fotovoltaico integrado en un edificio NZEB y estudio de su contribución a la cobertura de la demanda de climatización activa y pasiva.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Francisco Espinosa Toval
Director: Antonio Urbina Yeregui



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 10 de octubre de 2019

Resumen.

El objetivo de este proyecto es el diseño de un sistema fotovoltaico integrado en un edificio NZEB y estudio de su contribución a la cobertura de la demanda de climatización activa y pasiva. Se define un edificio típico para realizar el análisis. También se ha calculado el resto de consumos energéticos del edificio. Se han estudiado las distintas posibilidades de instalar módulos fotovoltaicos en el edificio. Se concluye con un estudio económico y medioambiental de las propuestas. Se ha analizado la aplicación del vehículo eléctrico en este contexto.

Palabras clave: Fotovoltaica, climatización, nZEB.

Abstract.

The purpose of this Project is the Design of a photovoltaic system integrated in a "Near Zero Energy Building" (nZEB) and study of its contribution to the demand of energy for passive and active climatization. A typical building is defined to perform the analysis. The rest of the building's energy consumption has also been calculated. The different possibilities of installing photovoltaic modules in the building have been studied. It concludes with an economic and environmental study of the proposals. The application of the electric vehicle in this context has been analyzed.

Keywords: Photovoltaic, climatization, nZEB.

Agradecimientos.

En la elaboración del presente trabajo he contado con la excelente colaboración de Antonio Urbina Yeregui, quien se ha mostrado disponible y cercano en todo momento, facilitado enormemente mi labor, motivo por el cual muestro mi gratitud y admiración.

También quisiera mostrar mi agradecimiento al resto del profesorado del Máster de Energías Renovables, con los que he tenido una primera toma de contacto con el mundo de las energías renovables. Estos agradecimientos los extiendo a todos los compañeros del máster, con los que he compartido muchos momentos agradables.

Finalmente, dar las gracias a mi familia y a mis amigos íntimos, quienes me han apoyado y motivado en este periodo.

Índice

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. Introducción..... | 6 |
| 2. Objetivos..... | 7 |
| 3. Metodología..... | 8 |
| 4. Marco teórico..... | 9 |
| 4.1. El edificio nZEB..... | 9 |
| 4.1.1. Definición de edificio nZEB..... | 9 |
| 4.1.2. El Código Técnico de la Edificación..... | 11 |
| 4.1.3. Estado actual de la tecnología de los edificios nZEB..... | 12 |
| 4.2. Estado del arte de los sistemas fotovoltaicos ubicados en edificios..... | 14 |
| 4.3. Marco legal actual de las instalaciones fotovoltaicas..... | 16 |
| 4.4. El vehículo eléctrico..... | 17 |
| 4.4.1. Sistemas de recarga de los vehículos eléctricos..... | 18 |
| 4.4.2. Baterías de los vehículos eléctricos..... | 19 |
| 5. Definición del edificio propuesto para el estudio..... | 21 |
| 5.1. Ubicación del edificio..... | 21 |
| 5.2. Configuración del edificio..... | 22 |
| 5.3. Ventilación y climatización..... | 23 |
| 5.3.1 Cálculo de la ventilación..... | 24 |
| 5.3.2. Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración..... | 33 |
| 5.3.3. Diseño del sistema de climatización..... | 41 |
| 5.3.4. Consumo energético de la climatización del edificio..... | 49 |
| 5.4. Agua Caliente Sanitaria (ACS)..... | 50 |
| 5.4.1. Cálculo de la demanda de ACS..... | 51 |
| 5.4.2. Cálculo del consumo de ACS..... | 52 |
| 5.5. Iluminación..... | 55 |
| 5.5.1. Consumo por iluminación en plantas sobre rasante..... | 55 |
| 5.5.2. Consumo por iluminación en plantas bajo rasante..... | 58 |
| 5.6. Equipos de oficina..... | 61 |
| 5.6.1. Consumo de los equipos de oficina..... | 61 |
| 5.7. Extracción en aseos..... | 63 |
| 5.7.1. Consumo de la extracción en aseos..... | 63 |
| 5.8. Extracción en garajes..... | 64 |
| 5.8.1. Consumo de la extracción en garajes..... | 64 |

| | |
|---|-----|
| 5.9. Ascensores. | 66 |
| 5.9.1. Consumo de los ascensores. | 66 |
| 5.9. Consumo energético total del edificio. | 67 |
| 6. Instalación fotovoltaica del edificio. | 70 |
| 6.1. Fundamento teórico de una instalación fotovoltaica. | 72 |
| 6.1.1. Cálculo de la energía generada por el sistema. | 72 |
| 6.1.2. Performance ratio del sistema. | 72 |
| 6.2. Selección del módulo fotovoltaico. | 75 |
| 6.3. Instalación fotovoltaica en cubierta. | 77 |
| 6.3.1. Alternativa 1 en cubierta: Ángulo óptimo. | 77 |
| 6.3.2. Alternativa 2 en cubierta: Paneles horizontales. | 82 |
| 6.3.3 Comparación de las alternativas en cubierta. | 84 |
| 6.4. Instalación fotovoltaica en fachada. | 86 |
| 6.4.1. Fachada sureste. | 88 |
| 6.4.2. Fachada suroeste. | 96 |
| 6.5. Resumen y análisis de resultados. | 103 |
| 6.6. Comparación de la producción fotovoltaica con el consumo del edificio. | 106 |
| 6.6.1. El vehículo eléctrico en los edificios nZEB: Consumidor y acumulador. | 112 |
| 7. Análisis económico y medioambiental. | 113 |
| 7.1. Rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas. | 113 |
| 7.2. Emisiones de contaminantes evitadas. | 118 |
| 8. Conclusiones. | 119 |
| 9. Bibliografía. | 122 |
| Anexo I. Planos del edificio propuesto. | 125 |
| Anexo II: Esquema de principio de la instalación de climatización. | 128 |
| Anexo III. Hojas técnicas de los inversores seleccionados. | 130 |
| Anexo IV. Detalle de la producción fotovoltaica diaria. | 132 |
| Anexo V. Detalle del consumo diario del edificio. | 137 |

1. Introducción.

Desde el siglo XIX hasta la actualidad el ser humano ha experimentado un meteórico avance tecnológico que ha ido cambiando la forma de vivir progresivamente hasta la situación en la que nos encontramos ahora mismo. La energía eléctrica ha sido un pilar fundamental en este proceso, por lo que su producción ha supuesto un importante objeto de estudio. Inicialmente los esfuerzos se centraban en cómo generar la energía eléctrica de la forma más rentable posible dentro de las posibilidades, teniendo el impacto medioambiental una importancia marginal, lo cual se ha traducido en unos sistemas de generación con unos elevados niveles de contaminación. No ha sido hasta la manifestación notoria de los efectos nocivos contra el medio ambiente, cuando se ha tomado conciencia de la importancia que tiene la implantación de un sistema de producción energética sostenible.

Según el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el ser humano ejerce una clara influencia en el sistema climático, cuyos efectos se parecían en todos los continentes y océanos del planeta. Muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. El IPCC tiene una elevada certeza de que la actividad humana es la causa principal del calentamiento global. [1] Dentro de esta preocupante situación, es poco alentador percibir que la tendencia en muchas organizaciones es seguir esta nefasta tendencia. En caso de no revertir la situación, las consecuencias medioambientales serán muy graves, lo que comprometerá seriamente el futuro del planeta.

Dada la magnitud del problema asociado a la sostenibilidad del planeta, algunas importantes entidades a nivel mundial han mostrado interés en afrontar este aspecto. Cobra importancia el Protocolo de Kyoto, celebrado en 1997, donde unos 180 países se comprometieron a reducir la emisión de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, aunque se ha comprobado que la mayoría de los países no cumplieron los objetivos fijados. [2] Más recientemente, se destaca la Conferencia de París sobre el Clima (COP21), celebrada en diciembre de 2015, en la cual 195 países firmaron el primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima, aunque los objetivos de reducción fijados por cada país son de carácter voluntario y la suma de los establecidos hasta la fecha son insuficientes para alcanzar los objetivos planteados. [3]

Ante la trascendencia que ha tomado el cambio climático, numerosos países y agrupaciones de países han adquirido compromisos para hacer frente a la situación. La Unión Europea ha ido redactado directivas comunitarias al respecto, las cuales han sido traspuestas a la legislación de los países correspondientes. Estas medidas han ido dirigidas a diversos sectores, como la industria, el transporte o el residencial.

El sector de la construcción supone una parte importante de la demanda eléctrica, además también conlleva un consumo de combustibles fósiles, como el gas natural, motivo por el cual es fundamental que sea objeto de estudio para afrontar el reto de la sostenibilidad energética. Dada la trascendencia que tiene el sector de la construcción, en la última década ha cobrado relevancia el concepto de edificio de consumo energético casi nulo o *nearly zero energy building* (nZEB). La idea de nZEB se basa en conseguir un elevado nivel de eficiencia energética en los edificios. Este concepto relativamente novedoso se encuentra muy ligado a las energías renovables, lo cual supone un campo de interés para la elaboración de un trabajo fin de máster de una titulación de energías renovables.

En el contexto de esta situación, las energías renovables componen una de las claves para afrontar el reto de los edificios nZEB. Concretamente la energía fotovoltaica tiene un enorme potencial a la hora de conseguir edificios autosuficientes y por ello es cada vez más común ver la aplicación de este tipo de tecnología en las viviendas. Dentro de los consumos de un edificio, la climatización tiene un lugar destacado, además de ser un factor imprescindible para proporcionar unas condiciones adecuadas a los ocupantes del inmueble. El hecho de integrar un sistema fotovoltaico que abastezca las necesidades de climatización supone una pieza fundamental para conseguir edificios más sostenibles desde el punto de vista energético, lo siendo esta idea la motivación de este trabajo fin de máster.

2. Objetivos.

El objetivo principal del presente trabajo fin de máster consiste en el diseño de un sistema fotovoltaico dentro de un edificio de consumo energético casi nulo (“nearly zero Energy Building”, nZEB), enfocando dicho sistema en satisfacer la demanda de climatización activa y pasiva del inmueble entre otros aspectos. El diseño se aplicará en un edificio ficticio de la ciudad de Murcia.

Los objetivos secundarios del trabajo fin de máster son:

- Analizar las diferentes posibilidades de implementar un sistema fotovoltaico en un edificio.
- Realizar un estudio de rentabilidad económica e impacto medioambiental del sistema fotovoltaico.
- Estudiar la relación que pueden guardar los vehículos eléctricos con los edificios nZEB.

3. Metodología.

El trabajo fin de grado que se va a desarrollar consiste en un diseño de un sistema fotovoltaico a nivel teórico en el cual se va a realizar en un edificio ficticio, que será completamente definido a nivel de consumo energético, centrado el interés en la climatización. Se definirá un sistema de climatización que se adecúe a las necesidades del edificio. Con el sistema de climatización establecido se pretenden en primer lugar proporcionar unas condiciones de habitabilidad y confort óptimos para los ocupantes de los edificios, y por otro lado, que el consumo energético esté ajustado a las necesidades reales. Una vez definido el sistema de climatización, se diseñará el sistema fotovoltaico que contribuirá al abastecimiento energético. Para el diseño del sistema fotovoltaico, se tendrán en cuenta las condiciones ambientales (temperatura e irradiancia) de la situación del edificio; esta información se obtendrá en la plataforma on-line del “Joint Research Centre” de la comisión europea PVGIS. También se valorará la posibilidad de incluir otras aplicaciones como sistemas de alimentación de coches eléctricos en el propio edificio que podrán ser abastecidas por el sistema fotovoltaico.

Este trabajo se ha desarrollado en distintas fases, las cuales se definen a continuación:

Fase 1: Búsqueda de información sobre los temas vinculados con el trabajo fin de máster: edificios nZEB (concepto, ejemplos,...), sistemas de climatización para edificios, aplicación de sistemas fotovoltaicos en edificios nZEB y sistemas de recarga de vehículos eléctricos. Con toda esta información se ha definido el estado del arte y se establecerá la base para elaboración del trabajo.

Fase 2: Elaboración de la propuesta del trabajo, donde se definen los objetivos (principal y secundarios) que se pretenden conseguir y se establece la metodología que se seguirá para alcanzar los objetivos.

Fase 3: Diseño de un edificio en cuanto a ubicación, uso, distribución de la superficie,...

Fase 4: Diseño de una instalación de climatización con todos sus componentes. Se realizado un prediseño que luego se define completamente con todos los elementos del sistema, ubicados con los planos correspondientes. También se ha realizado un diseño simplificado del resto de áreas del edificio, de modo que se pueda definir por completo el consumo del mismo.

Fase 5: Diseño del sistema fotovoltaico que abastecerá al edificio. Se han realizado distintas propuestas de instalación de sistemas fotovoltaicos en las diversas superficies disponibles.

Fase 6: Estudio de la inclusión de sistemas de recarga de coches eléctricos y su integración con la instalación fotovoltaica.

Fase 7: Análisis de las soluciones propuestas: Estudio económico y evaluación de impacto ambiental.

Fase 8: Definición de las conclusiones del trabajo desarrollado.

Fase 9: Redacción de la memoria del Trabajo Fin de Máster y preparación de la presentación para la defensa oral ante el tribunal.

4. Marco teórico.

4.1. El edificio nZEB.

4.1.1. Definición de edificio nZEB.

La definición de edificio de consumo energético casi nulo (nZEB) queda establecida de manera formal por primera vez en la Directiva 2010/31/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo, relativa a la eficiencia de los edificios. [4] Concretamente, la definición queda recogida en el artículo 2 de la directiva, que establece lo siguiente:

«Edificio de consumo de energía casi nulo»: edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.

En lo referido a los plazos de aplicación, en el artículo 9 se establecen dos hitos importantes, los cuales son:

- a) A más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo.
- b) Después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Con posterioridad, se definió otro objetivo con fecha límite para el año 2050, recogido en el artículo 2 bis, que dicta lo siguiente: “Cada Estado miembro establecerá una estrategia a largo plazo para apoyar la renovación de sus parques nacionales de edificios residenciales y no residenciales, tanto públicos como privados, transformándolos en parques inmobiliarios con alta eficiencia energética y descarbonizados antes de 2050, facilitando la transformación económicamente rentable de los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo.”

Debido a las variedades climatológicas que existen en los países de Europa, los valores de referencia aplicables a la eficiencia energética de los edificios de consumo casi nulo se sitúan en escalas diferentes. En la Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión se proponen los siguientes valores para cada una de las zonas climáticas [5]:

Zona mediterránea:

Oficinas: 20-30 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 80-90 kWh/(m²/año) cubierto por 60 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Vivienda unifamiliar nueva: 0-15 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 50-65 kWh/(m²/año) cubierto por 50 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Zona oceánica:

Oficinas: 40-55 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 85-100 kWh/(m²/año) cubierto por 45 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Vivienda unifamiliar nueva: 15-30 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 50-65 kWh/(m²/año) cubierto por 35 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Zona continental:

Oficinas: 40-55 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 85-100 kWh/(m²/año) cubierto por 45 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Vivienda unifamiliar nueva: 20-40 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 50-70 kWh/(m²/año) cubierto por 30 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Zona nórdica:

Oficinas: 55-70 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 85-100 kWh/(m²/año) cubierto por 30 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

Vivienda unifamiliar nueva: 40-65 kWh/(m²/año) de energía primaria neta, con, normalmente, un uso de energía primaria de 65-90 kWh/(m²/año) cubierto por 25 kWh/(m²/año) procedentes de fuentes renovables in situ.

4.1.2. El Código Técnico de la Edificación.

En España el sector de la edificación se encuentra regulado por el Código Técnico de la Edificación (CTE). Dicho documento fue aprobado en el Real Decreto 314/2006, en el cual se sustituyen las Normas Básicas de la Edificación de 1977 para incluir el nuevo marco legal. El Código Técnico de la Edificación ha estado en constante evolución desde su origen. Los avances tecnológicos y los objetivos estratégicos son los impulsores de las modificaciones del Código Técnico. Dentro de estos cambios, aquéllos relacionados con aspectos energéticos guardan una gran trascendencia en la actualidad. Como consecuencia de las exigencias relativas a la certificación energética de edificios establecidas en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, se establece en España el Real Decreto 47/2007, el cual aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Posteriormente se redacta el Real Decreto 235/2013 que traspone parcialmente la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo, refundiendo el Real Decreto 47/2007, con la incorporación del Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes. El Real Decreto 235/2013 obliga a que los edificios que, en su totalidad o parcialmente, estén en venta o en alquiler, dispongan del correspondiente certificado de eficiencia energética. [6]

Con fecha 10 de septiembre de 2013, se publicó la Orden FOM/1635/2013, que modifica el documento básico DB HE “Ahorro de Energía” del Código Técnico de la Edificación, con el fin de incrementar considerablemente la exigencia de reducción de la demanda respecto a la redacción anterior del Código Técnico de la Edificación. De forma adicional, se introduce la Sección HE 0, mediante la cual se efectúa una limitación del consumo en los edificios. [7]

Mediante el Real Decreto 564/2017 se modifica ligeramente el Real Decreto 235/2013, entre otros, se realizan unas variaciones en el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. [8]

Posteriormente se aprueba la Orden FOM/588/2017, que supone la modificación del Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía” y el Documento Básico DB-HS “Salubridad”, del Código Técnico de la Edificación. En la Figura 1 se pueden apreciar las modificaciones que se han producido en la actualización del DB-HE. En la actualización del DB-HE, aparte de modificar los valores de los indicadores ya existentes, se han incluido nuevos indicadores, donde destaca la aparición del “Consumo de energía primaria total, $C_{EP, total}$ ”, cuyo objetivo es asegurar un equilibrio entre el uso

eficiente de energía procedente de fuentes renovables y el uso de estrategias de reducción de la demanda. En resumen, se puede concluir que el Código Técnico de la Edificación es un documento dinámico, donde los aspectos energéticos centran una gran parte evolución. [9]

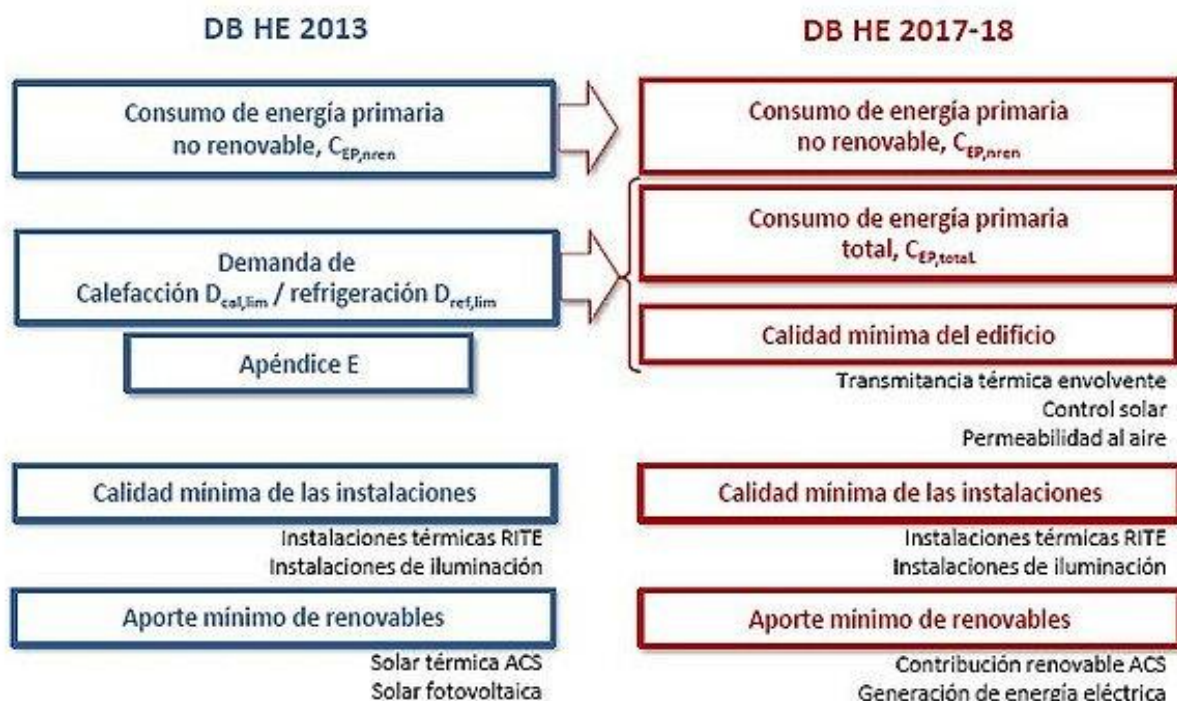


Figura 1: Comparación del sistema de indicadores del DB HE 2013 y del DB HE 2018. (Imagen extraída de: <https://blog.synthesia.com/es/cambios-nuevo-cte-db-he-2018>)

4.1.3. Estado actual de la tecnología de los edificios nZEB.

A nivel tecnológico existe un amplio repertorio de alternativas con el objetivo de reducir al máximo el consumo energético y a implementar fuentes de origen renovable para el abastecimiento de energía.

No existe una única fórmula para definir la estructura tecnológica que conforman un edificio nZEB, por lo que habrá que optar por una solución en función de la localización del edificio, de las características de la construcción (altura, morfología de las plantas, ocupación, uso,...) y de las posibilidades económicas.

La climatización es uno de los pilares fundamentales en la construcción de edificios de consumo casi nulo. El diseño de una instalación de climatización se debe realizar haciendo gran énfasis en la eficiencia energética. Dentro de este panorama la bomba de calor tiene un gran futuro para desbancar a otras opciones, como la caldera de gas natural. En zonas donde las temperaturas sean generalmente elevadas, las bombas de calor con aerotermia alcanzan una elevada eficiencia. Los sistemas de aerotermia son una excelente combinación para los suelos radiantes. Para

incrementar todavía más la eficiencia energética existe un elemento clave: el recuperador de calor, con el cual se puede aprovechar las condiciones del aire de salida para pretratar el aire de entrada. Por razones de salud, la climatización debe ir acompañada de un eficaz sistema de ventilación, tal como indica el DB-HS 3: Calidad del aire interior del Código Técnico de la Edificación, con el objetivo de conseguir unas condiciones de habitabilidad óptimas en el interior del edificio. El síndrome del edificio enfermo (SEE) aparece cuando las condiciones de ventilación son deficientes, lo cual tiene como resultado afecciones contra la salud de las personas. En el presente trabajo fin de máster se realizarán unos diseños de sistema de climatización y de ventilación que sean coherentes con la filosofía de los edificios nZEB. [10]

Por otro lado, las envolventes de los edificios también tienen una gran relevancia en el ahorro energético, es por ello que son objeto de constante investigación. Existen soluciones relativamente sencillas, como pueden ser empleo de materiales térmicamente aislantes que minimicen los flujos de calor entre el edificio y el entorno, o el empleo de cámaras de aire para el aislamiento de las fachadas. Por otro lado, hay propuestas mucho más complejas como es dopar el mortero con material de cambio de fase microencapsulado. Con este sistema se consigue un excelente amortiguamiento térmico con el calor latente de cambio de fase del material microencapsulado. Cada vez que se completa un ciclo de cambio de fase, el proceso se reactiva por medio del agua que circula por unos tubos que se ponen dentro de cerramiento. [10]

Para reducir los costes energéticos requeridos en la climatización, especialmente en las zonas más calurosas, se recurre a sistemas de control solar con los cuales se reduce la influencia de la radiación proveniente del Sol que contribuye al calentamiento del edificio. Para estos sistemas se emplean láminas en las envolventes que impidan el paso de parte de la energía solar responsable del calentamiento. Otro sistema de control solar, que se puede implementar de manera conjunta con el anterior, es la colocación de lamas de posición regulable cuya orientación impida el paso de la radiación solar en los momentos donde no sea deseable. [11, 12]

En la definición de edificio de consumo energético casi nulo de la Directiva 2010/31/UE se establece que la energía empleada en este tipo de construcciones debe ser de origen renovable producida in situ o en el entorno. Los sistemas que se pueden emplear en estos casos son: sistemas eólicos, calderas de biomasa, sistemas de energía solar térmica y sistemas fotovoltaicos. Los sistemas eólicos tienen en la actualidad un escaso uso debido a las limitaciones del recurso eólico y a las dificultades que presenta en entornos urbanos.

Las calderas de biomasa son una excelente opción para climas fríos. Dentro de los inconvenientes que tienen las calderas de biomasa se encuentra el elevado volumen para almacenar el biocombustible sólido, la gran capacidad logística que se requiere para asegurar el suministro y un mantenimiento más estricto en comparación con otros tipos de calderas. Los mencionados

inconvenientes hacen que en los climas más cálidos, como el mediterráneo, la caldera de biomasa no sea una solución interesante. La energía solar térmica se emplea para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción, siendo muy habitual su implementación en los edificios nZEB. Existen investigaciones encaminadas a la producción de frío mediante energía solar térmica, aunque sus pobres resultados han relegado estos sistemas a un uso marginal. Los sistemas fotovoltaicos permiten la producción de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la radiación solar. La tecnología de estos sistemas está en constante crecimiento, lo cual hace que cada vez sea más competitiva. Los sistemas fotovoltaicos tienen múltiples aplicaciones, dentro de las cuales se encuentra el abastecimiento de edificios. La relativa facilidad de implementar estos sistemas en edificios hace que sea una atractiva opción para los proyectistas. Una de las principales dificultades de la implementación de módulos fotovoltaicos es las limitaciones de espacio en algunos casos. En la actualidad existen propuestas de integración arquitectónica que logran soluciones con alto valor estético, a la vez que se aprovechan las bondades de los sistemas fotovoltaicos. El contenido del trabajo fin de máster se centrará en esta última tecnología, cuyo situación actual se detallará en el siguiente apartado.

4.2. Estado del arte de los sistemas fotovoltaicos ubicados en edificios.

La tendencia creciente en la implementación de las energías renovables está motivando a la investigación acerca de la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios. Como se ha mencionado anteriormente, la escasez de superficie es una importante barrera para la colocación de sistemas fotovoltaicos en edificios. En numerosos artículos científicos se profundiza en la optimización de los sistemas, donde se intentan hallar configuraciones, estudiando parámetros como la inclinación y la orientación de los módulos o la conexión de los mismos, para conseguir un elevado rendimiento energético y económico. Un ejemplo de este tipo de investigaciones es el artículo titulado “Optimal design of photovoltaic shading systems for multi-story buildings”, donde se estudia cómo optimizar los sistemas fotovoltaicos en edificios ubicados en diversas ciudades de China. [13] En el mencionado artículo se propone sustituir las tradicionales conexiones totalmente en serie de los módulos por conexiones en paralelo de ristas de módulos en serie, reduciendo de este modo las pérdidas de energía por sombreado. También se propone la colocación de módulos fotovoltaicos en la parte orientada al sur de la fachada, en la parte superior de las ventanas, de modo que se consigue superficie extra de captadores a la vez que se reduce la entrada de radiación solar al interior del edificio a través de la ventana.

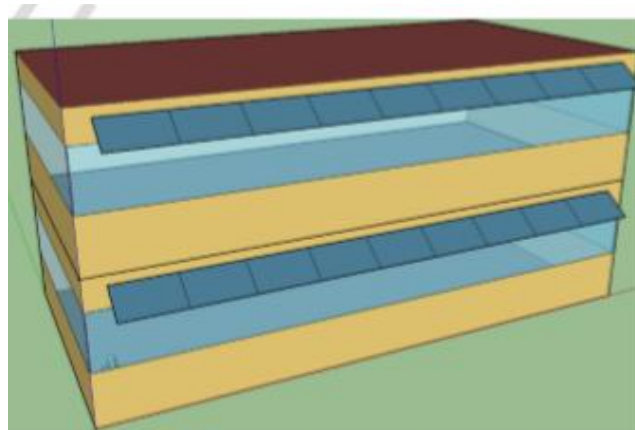


Figura 2: Representación de un módulo fotovoltaico instalado en la fachada (imagen extraída del artículo: “Optimal design of photovoltaic shading systems for multi-story buildings”).

La propuesta de integrar módulos fotovoltaicos en las fachadas de los edificios también es explorada en otros artículos, como el titulado: “Energy optimization of high-rise commercial buildings integrated with photovoltaic facades in urban context”, en el cual se realiza un análisis de sensibilidad de los distintos parámetros que afectan al caso [14], o el artículo: “Transformation of a University Lecture Hall in Valladolid (Spain) into a NZEB: LCA of a BIPV System Integrated in Its Facade”, donde se remodela un edificio universitario, incluyendo módulos fotovoltaicos para abastecer parte del consumo energético del inmueble. [15]

Los materiales fotovoltaicos semitransparentes integrados en el acristalamiento pueden contribuir al ahorro energético de los edificios, al influir en la iluminación y en las cargas térmicas, a la vez que se genera electricidad. Dicha tecnología es analizada en el artículo: “Energy Saving Assessment of Semi-Transparent Photovoltaic Modules Integrated into NZEB”, en el cual se hacen unos experimentos y simulaciones de la implementación de estos sistemas en diversas regiones de Italia. En el estudio desarrollado se demuestra que los módulos solares sensibilizados con colorante suponen una solución a tener en cuenta para todas las zonas climáticas de Italia y para todas orientaciones de los edificios. [16]

La inclusión de baterías de almacenamiento de energía eléctrica es una cuestión a tener en cuenta en el estudio de implementar sistemas fotovoltaicos en edificios. Los autores Juha Koskela, Antti Rautiainen y Pertti Järventausta inciden en este aspecto en el artículo titulado “Using electrical energy storage in residential buildings – Sizing of battery and photovoltaic panels based on electricity cost optimization”. Cabe destacar que dicho artículo se desarrolla en el contexto de los países nórdicos, donde el recurso solar es inferior en comparación con otros países como España. Se concluye que el empleo de baterías de almacenamiento es un excelente complemento para aumentar la eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos implementados en el sector

residencial. [17] El empleo de baterías en sistemas fotovoltaicos también es analizado en el artículo: “A simulation approach to sizing batteries for integration with net-zero energy residential buildings”, el cual se contextualiza en el estado de Arizona. Como resultado se demuestra que con las baterías se consigue compensar el desajuste entre los momentos de mayor irradiación solar y el periodo de mayor consumo, aumentando de este modo la rentabilidad del sistema. [18]

Los módulos híbridos, que combinan la producción de electricidad mediante el efecto fotovoltaico con la generación de energía térmica solar, constituyen una idea innovadora que actualmente se encuentra en una fase experimental, pero que puede resultar bastante interesante para su aplicación en el sector de la edificación. Sobre esta tecnología se investiga en el artículo: “Experimental performance characterisation of a Hybrid Photovoltaic/Solar Thermal Facade module compared to a flat Integrated Collector Storage Solar Water Heater module”. Estos módulos que se pueden integrar en las fachadas de los edificios, aparte de producir electricidad y calor, pueden conferir aislamiento al edificio, con el consiguiente ahorro energético en la climatización. [19]

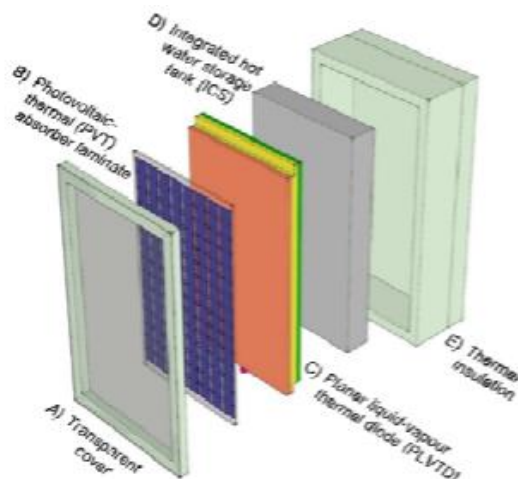


Figura 3: Disposición de las distintas partes de un módulo híbrido (imagen extraída del artículo: “Experimental performance characterisation of a Hybrid Photovoltaic/Solar Thermal Facade module compared to a flat Integrated Collector Storage Solar Water Heater module”)

Tras la lectura de los artículos científicos anteriormente mostrados queda constatado que existe una notable variedad de estrategias y tecnologías en la aplicación de los sistemas fotovoltaicos en edificios. Esta información conformará la base sobre la cual se desarrollará este trabajo fin máster con el objetivo de alcanzar propuestas aplicables en España.

4.3. Marco legal actual de las instalaciones fotovoltaicas.

Tras un periodo en el cual el marco regulatorio español ponía barreras a las instalaciones fotovoltaicas, se ha cambiado el rumbo hacia un modelo que fomente este tipo de tecnologías. Tras

una sucesiva supresión de incentivos económicos y primas, el Real Decreto 900/2015 (mediante el peaje de respaldo, conocido por impuesto al sol) terminó por dilapidar el interés general de construir instalaciones fotovoltaicas. Este panorama cambia de forma radical mediante el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, donde se anula el impuesto al sol, se simplifican los trámites reglamentarios y se abre la puerta al autoconsumo compartido.

La situación de la fotovoltaica mejora aun más con la reciente aprobación del 244/2019 con una fuerte apuesta por la generación distribuida. En concreto, habilita la figura del autoconsumo colectivo, que fomentará esta fórmula en las comunidades de propietarios o en polígonos industriales; reduce los trámites administrativos, especialmente en el caso de los pequeños autoconsumidores, lo cual es muy interesante para las comunidades de vecinos en edificios. Además, otro aspecto importante es el establecimiento de un mecanismo simplificado de compensación de la energía autoproducida y no consumida. En el ámbito de lo aplicable por el Real Decreto 244/2019 se distinguen dos modalidades de suministro con autoconsumo: con excedentes y sin excedentes. Para tener la posibilidad de compensar los excedentes se deberá disponer de una instalación con una potencia no superior a 100 kW y siempre que la electricidad sea de origen renovable. Mediante la compensación se podrá aprovechar la sobreproducción de energía (como puede ser en los momentos donde haya más recurso solar) para poder servirse durante los momentos de poca o nula producción (por ejemplo, por la noche), obteniendo un gran ahorro en la factura eléctrica. En conjunto, la situación actual hace muy interesante la implementación de energía fotovoltaica en edificios. [20, 21]

4.4. El vehículo eléctrico.

Dentro del objetivo de reducir la contaminación originada por el ser humano, el sector del automóvil supone un punto importante de estudio. Con la meta de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes procedentes de los vehículos alimentados por gasolina y gasóleo, cada vez está adquiriendo más relevancia otras alternativas tecnológicas, entre la que destaca el coche eléctrico. Aunque todavía no está realmente extendido, el uso del coche eléctrico es cada vez más habitual. Es importante destacar que los gobiernos de muchos países están adoptando estrategias para el fomento de vehículos libres de contaminantes, en España el gobierno actual intentó adoptar una fiscalidad que penalizara los vehículos de gasolina y de gasóleo, aunque finalmente no se pudo materializar tal como estaba pensada. Dicho gobierno también pretendió prohibir la comercialización de coches de gasolina y diésel a partir de 2040. [22] A pesar de no haber fructificado las medidas anteriores, la senda que se espera en los próximos años es la de incentivar el uso del vehículo eléctrico, la cual marca la tendencia que están siguiendo los países integrantes de la Unión Europea.

La contaminación de los vehículos tiene una relevancia sobre el planeta a nivel global, pero a nivel local los efectos tienen una repercusión más inmediata, especialmente en las grandes ciudades donde se alcanzan unos elevados niveles de contaminación que tiene un impacto grave contra la salud de los habitantes. Muchas ciudades en España han registrado niveles de contaminación elevados y han tenido que tomar en alguna ocasión medidas como limitaciones en la velocidad o restricciones en el tráfico.

Dentro de este contexto se ha considerado que puede ser interesante la aplicación de la energía fotovoltaica para cargar los vehículos eléctricos, como un proyecto con perspectiva al futuro. En este trabajo se va a estudiar la posibilidad de alimentar los vehículos eléctricos que se encuentran estacionados en los aparcamientos de los edificios. De este modo se contribuiría a conseguir un funcionamiento en las ciudades más sostenible desde el punto de vista medioambiental.

4.4.1. Sistemas de recarga de los vehículos eléctricos.

La carga de vehículos eléctricos está regulada por las normativas internacionales IEC 61851 & IEC 62196. Dichas normativas definen los diferentes modos de carga, así como el conexionado destinado para la carga del vehículo eléctrico. En España, la recarga de los vehículos eléctricos queda regida por la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52, aprobada por el Real Decreto 1053/2014. [23] En el mencionado documento se establece que en edificios o estacionamientos de nueva construcción deberá incluirse la instalación eléctrica específica para la recarga de los vehículos eléctricos con las siguientes dotaciones mínimas:

- a) En aparcamientos o estacionamientos colectivos en edificios de régimen de propiedad horizontal, se deberá ejecutar una conducción principal por zonas comunitarias (mediante, tubos, canales, bandejas, etc.), de modo que se posibilite la realización de derivaciones hasta las estaciones de recarga ubicada en las plazas de aparcamiento, tal y como se describe en el apartado 3.2 de la (ITC) BT-52.
- b) En aparcamientos o estacionamientos de flotas privadas, cooperativas o de empresa, o los de oficinas, para su propio personal o asociados, o depósitos municipales de vehículos, las instalaciones necesarias para suministrar a una estación de recarga por cada 40 plazas.
- c) En aparcamientos o estacionamientos públicos permanentes, las instalaciones necesarias para suministrar a una estación de recarga por cada 40 plazas.

Los tipos de conectores para recarga de vehículos eléctricos son [24]:

-Recarga convencional (16 A): La carga convencional monofásica emplea la intensidad y voltaje eléctricos del mismo nivel que la propia vivienda, es decir, 16 amperios y 230 voltios. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de

aproximadamente 3,7 kW. El vehículo se enchufa durante aproximadamente 8 horas para obtener una carga completa.

-Recarga semi-rápida (32 A): La carga semi-rápida emplea 32 amperios de intensidad y 230 VAC de voltaje eléctrico. Esto implica que la potencia eléctrica que puede entregar el punto para este tipo de cargas es de aproximadamente 7,3kW. El vehículo se enchufa durante aproximadamente 4 horas, la mitad de las horas que implica la recarga convencional, para obtener una carga completa.

-Recarga rápida (hasta 125 A): La carga rápida emplea una mayor intensidad eléctrica y, además, entrega la energía en corriente continua, obteniéndose una potencia de salida del orden de 50kW. El vehículo se enchufa durante aproximadamente 30 minutos para obtener una carga del 80% de la batería.

A su vez, existen 4 modos de recarga [24]:

Modo 1: Toma doméstica tipo Schuko sin comunicaciones entre infraestructura de carga y vehículo eléctrico.

Modo 2: Toma doméstica tipo Schuko en pared, con sistemas de función piloto incluidos en el cable. El cable cuenta con un dispositivo intermedio de control piloto que sirve para verificar la correcta conexión del vehículo a la red.

Modo 3: Toma tipo Mennekes con hilo piloto de comunicación integrado. Los dispositivos de control y protecciones ya se encuentran dentro del propio punto de recarga.

Modo 4: Infraestructura de recarga con convertidor a corriente continua. Sólo aplica a recarga rápida.

4.4.2. Baterías de los vehículos eléctricos.

Los vehículos que actualmente hay en el mercado emplean baterías de Ión-Litio para la acumulación de la energía eléctrica, no obstante, existen más tipos de baterías. Las baterías clásicas de Plomo-Ácido, comúnmente usadas en el arranque, iluminación y soporte eléctrico de los vehículos de combustible fósiles, tienen una difícil adaptación a las exigencias de los coches eléctricos debido a su escasa autonomía y a su lenta capacidad de recarga. Las baterías de Níquel-Cadmio tampoco resultan ser aptas por su elevado coste, el envejecimiento prematuro y el efecto memoria que poseen.

A continuación se puede ver una lista con los principales vehículos eléctricos que hay en el mercado, indicando el tipo de batería y la capacidad de la misma.

| Modelo | Tipo de batería | Capacidad (kWh) |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Citroën C-Zéro | Ión-litio | 14,5 |
| Peugeot-ion | Ión-litio | 14,5 |
| RENAULT ZOE | Ión-litio | 41 |
| Hyundai IONIQ Eléctrico | Ión-litio | 28 |
| Nissan Leaf 2018 | Ión-litio | 40 |
| Hyundai Kona EV 100 | Ión-litio | 64 |
| Volkswagen e-Golf | Ión-litio | 35,8 |
| Audi e-tron | Ión-litio | 95 |
| BMW i3 | Ión-litio | 27,2 |
| Hyundai Kona EV | Ión-litio | 39 ó 64 |
| Jaguar I-Pace | Ión-litio | 90 |
| Mercedes-Benz EQC | Ión-litio | 80 |
| Nissan Leaf | Ión-litio | 40 |
| Opel Ampera-e | Ión-litio | 60 |
| Tesla Model X 75D | Ión-litio | 75 |
| Tesla Model S 75D | Ión-litio | 75 |
| Tesla Model X 100D | Ión-litio | 100 |
| Tesla Model S P100D | Ión-litio | 100 |
| Tesla Model S 100D | Ión-litio | 100 |
| Tesla Model 3 Long Range | Ión-litio | 80,5 |
| Tesla Model 3 Standard | Ión-litio | 55 |

Tabla 1: Baterías de los principales coches eléctricos disponibles en el mercado actualmente.

La información representada en la tabla se ha obtenido consultando las fichas que se ofrecen en las páginas web de las respectivas casas comerciales de vehículos. Se observa que la totalidad de las baterías son de Ión-Litio, y las capacidades se sitúan entre los 14,5 y los 100 kWh.

La batería supone uno de los grandes desafíos a los cuales se enfrenta el coche eléctrico. Conseguir baterías con una capacidad que proporcionen un nivel de autonomía adecuada, sin sacrificar la seguridad del sistema y cuyo precio sea razonable, permitiría una mayor expansión del vehículo eléctrico. Dentro de los avances tecnológicos en este aspecto destaca las baterías de electrolito sólido y las baterías de grafeno.

En algunos estudios se está observando que empleando electrólito sólido, en sustitución del líquido, se podrían obtener baterías de bajo costo y seguras. Su rango de temperatura de funcionamiento está entre -20°C y 80°C, y se permitiría el diseño de cátodos de alta capacidad y alto voltaje, proporcionando velocidades de carga y descarga más rápidas. También permite proporcionar una gran escalabilidad mediante la creación de grandes baterías multiceldas. [25]

El grafeno centra numerosas líneas de investigación cuyo propósito es aumentar la capacidad y reducir los costes de las baterías. Actualmente, existen vehículos experimentales que emplean baterías de grafeno que pueden alcanzar una distancia máxima de 500 km, cuyo tiempo de recarga

es de 3 minutos. Estos resultados permiten crear un ambiente de optimismo a la hora de afrontar el importante desafío que supone conseguir una elevada autonomía en el vehículo eléctrico.

Uno de los objetivos del presente trabajo fin de máster será el estudio de la viabilidad de alimentar las baterías de los vehículos eléctricos con energía producida en los sistemas fotovoltaicos implementados en edificios. Se realizará un análisis detallado del caso, del que se obtendrán las conclusiones para poder establecer la perspectiva de futuro de dicha propuesta. [26]

5. Definición del edificio propuesto para el estudio.

Para el desarrollo de este trabajo se considerará un edificio ficticio cuyas características se ajusten lo máximo a un caso real. Se definirá un edificio de oficinas situado en el área empresarial ubicada al norte de la ciudad de Murcia. Los edificios de oficinas tienen asociado un importante consumo energético, lo que lo hace apropiado para obtener unos resultados de interés en cuanto a eficiencia energética y a la aplicación de energías renovables.

5.1. Ubicación del edificio.

La ubicación concreta del edificio será en una parcela situada al norte de la Senda de Granada y al sur de la Avenida Reino de Murcia, tal como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 4: Ubicación considerada para el edificio.

Suponiendo el lógico crecimiento de la ciudad de Murcia, es de esperar que en un plazo de tiempo no demasiado largo, muchas de las parcelas sin edificar de la zona considerada alberguen

construcciones empresariales, lo que confiere un carácter bastante realista a la propuesta realizada.

5.2. Configuración del edificio.

Se considerará un edificio de oficinas de cuatro plantas de altura sobre rasante, con una superficie útil de 900 metros cuadrados cada una de las plantas, las cuales tendrán una forma rectangular cuyos lados miden 45 y 20 metros. Se supondrá una ocupación de unas 382 personas en el edificio. El edificio dispondrá de niveles en sótano para garaje, con una capacidad total de 38 vehículos.

En la planta baja se encontrarán el vestíbulo de entrada, las zonas relacionadas con los servicios prestados al edificio (sala de seguridad, enfermería, salas de espera o de visitas, sala de servicios generales, sala-comedor, ...) y también parte de la zona de oficinas. El edificio contará con tres ascensores. La entrada al edificio estará en la cara sur del edificio.

Las plantas que van desde la primera hasta la cuarta seguirán una distribución similar. Se diferenciarán cuatro zonas de oficinas en cada una de las plantas. Cada una de las cuatro zonas estará formada por una superficie diáfana destinada para puestos de trabajo y de forma más compartimentada, habrá despachos, salas de reuniones y zonas de almacén-archivo. En la zona central se encontrarán las escaleras y los ascensores. En cada una de las plantas habrá dos áreas destinadas a ubicar los aseos y una habitación auxiliar para elementos de mantenimiento y limpieza. La planta cuarta será ligeramente diferente al resto debido a que en la parte noroeste tendrá un cuarto destinado a los inversores y demás elementos propios de la instalación fotovoltaica. Mediante este cuarto se tendrá acceso a la cubierta del edificio.

La planta de cubierta estará totalmente libre de elementos estructurales del edificio, excepto por la zona de acceso. El perímetro de la cubierta estará rodeado por un pequeño muro para evitar caídas, de medio metro de altura. En la cubierta se ubicarán los módulos fotovoltaicos además de los elementos necesarios para la climatización y la ventilación del edificio. El paso a la cubierta estará restringido y tendrá acceso únicamente el personal que tenga que hacer operaciones de mantenimiento relacionadas con los elementos que allí se ubican.

El edificio dispondrá de dos plantas en sótano para aparcamiento, con una superficie de unos 1121 metros cuadrados cada uno de los sótanos. El sótano en nivel -1 tendrá una capacidad de 16 plazas (dos de ellas serán adaptadas a discapacitados), y el sótano -2 albergará 22 plazas. Las plazas estándar tendrán unas dimensiones de 5 metros de largo y 2,6 metros de ancho (en el caso de las plazas de discapacitados la anchura será de 3,2 metros). El acceso de los vehículos a los sótanos se efectuará mediante una rampa que estará construida en el lateral orientado al noroeste

del edificio. Los sótanos estarán conectados con las plantas ubicadas sobre rasante por medio de ascensores y escaleras.

En el Anexo I pueden consultarse los planos del edificio propuesto.

En la siguiente tabla se resumen la superficie y la ocupación por planta del edificio, así como las plazas de garaje:

| Planta | Superficie (m2) | Ocupación |
|----------------------------|-----------------|------------------|
| Cubierta | 903,67 | - |
| Cuarta | 903,67 | 77 |
| Tercera | 903,67 | 85 |
| Segunda | 903,67 | 85 |
| Primera | 903,67 | 77 |
| Baja | 903,67 | 58 |
| Total Sobre Rasante | 5422,02 | 382 |
| Sótano -1 | 1121,33 | 16 plazas |
| Sótano -2 | 1121,33 | 22 plazas |
| Total Bajo Rasante | 2242,66 | 38 plazas |

Tabla 2: Resumen de la superficie y ocupación del edificio.

En la definición de la configuración del edificio el objetivo ha sido establecer un modelo que se ajuste lo máximo a la realidad, para que los resultados obtenidos sean fácilmente extrapolables a otros edificios de similar uso. Es importante señalar que en el diseño de un edificio que vaya a tener una instalación fotovoltaica se disponga de una cubierta apropiada, es decir, que sea una superficie plana y horizontal, además de amplia.

5.3. Ventilación y climatización.

La climatización de un edificio supone una parte importante del consumo energético del mismo, por lo que el cálculo de la potencia necesaria para la climatización es un aspecto fundamental para el posterior diseño de un sistema que satisfaga estas necesidades de forma eficiente.

Para el cálculo de la demanda energética del edificio vinculada a la climatización se empleará se utilizará el programa VP Clima, que es una herramienta que ofrece de forma gratuita la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Este programa ha sido desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia.

Mediante el programa VP Clima se puede obtener una estimación de la demanda energética de un edificio en función de las condiciones exteriores, de las condiciones que se quieren conseguir en el interior, del uso que se va a tener el edificio, de la configuración del edificio, de los cerramientos, de la ocupación y de la existencia de recuperadores de calor, entre otros parámetros.

5.3.1 Cálculo de la ventilación.

La ventilación en un edificio constituye un aspecto fundamental para conseguir unas adecuadas condiciones de habitabilidad. A su vez, la ventilación guarda una estrecha relación con la climatización, por lo que deberá ser considerada en el cálculo de la demanda por medio del programa VP Clima.

5.3.1.1. Caudal de aire exterior del sistema de ventilación.

Para determinar el caudal mínimo de aire exterior que debe proporcionar el sistema de ventilación el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) establece cinco métodos para calcularlo, siendo “A. Método indirecto de caudal de aire exterior por persona” el sistema que más se emplea.

Este método indirecto define un caudal por persona en función de la categoría de calidad de aire interior exigido en el interior del edificio en función de su uso. Existen cuatro categorías:

- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
- IDA 4 (aire de calidad baja).

Para cada una de estas cuatro categorías, el caudal mínimo de aire exterior por persona para la ventilación es el siguiente:

| Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona | |
|---|-------------------------------------|
| Categoría | dm³/s por persona |
| IDA 1 | 20 |
| IDA 2 | 12,5 |
| IDA 3 | 8 |
| IDA 4 | 5 |

Tabla 3: Caudal de aporte mínimo por persona. Fuente: RITE.

En el caso de un edificio de oficinas, corresponde la categoría IDA 2, lo que supone un caudal de aportación de 12,5 dm³/s por persona.

| Planta | Número de personas | Caudal mínimo de aportación (m³/h) |
|---------------|---------------------------|---|
| Baja | 58 | 2610 |
| Primera | 85 | 3825 |
| Segunda | 85 | 3825 |
| Tercera | 85 | 3825 |
| Cuarta | 77 | 3462 |
| Total | 390 | 17550 |

Tabla 4: Caudales de aporte mínimos por planta.

Los caudales mínimos de aportación proporcionados por la tabla anterior son los mínimos considerando estrictamente los trabajadores en cada planta. En la práctica, este caudal será mayor debido al desplazamiento del personal por las distintas zonas del edificio y a la posibilidad de que en un momento concreto pueda haber una cantidad adicional de personas en el interior del edificio. Por lo que en las zonas de oficinas se mayorará la ocupación un 5%, y en la zona de ascensores se supondrá una ocupación de 6 personas. En la sala de máquinas de la planta cuarta se establece un caudal de ventilación de 1000 m³/h. Con estas consideraciones, el caudal de aportación por planta que se impondrá en el edificio sería:

| Planta | Caudal de aportación (m³/h) |
|---------------|------------------------------------|
| Baja | 3640,5 |
| Primera | 4286,25 |
| Segunda | 4286,25 |
| Tercera | 4286,25 |
| Cuarta | 4908,25 |
| Total | 21407,5 |

Tabla 5: Caudal de aportación final por planta.

Debido al gran caudal de aportación resultante, se emplearán dos unidades de tratamiento de aire, una de ellas se encargará de la ventilación de la planta baja, primera y segunda, lo que supone un caudal de aportación de 12213 m³/h, y la otra unidad será la responsable de la ventilación de la tercera y cuarta planta, con un caudal de aporte de 9194,5 m³/h.

En la IT 1.1.4.2.4. del RITE se establecen las distintas clases de elementos de filtración en la ventilación en función de la calidad del aire interior exigida en dentro del edificio y la calidad del aire exterior existente. Los prefiltros y filtros necesarios en cada situación se indican en la siguiente tabla:

| Prefiltros / Filtros | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|---------|---------|
| | IDA 1 | IDA 2 | IDA 3 | IDA 4 |
| ODA 1 | F7 / F9 | F6 / F8 | F6 / F7 | G4 / F6 |
| ODA 2 | F7 / F9 | F6 / F8 | F6 / F7 | G4 / F6 |
| ODA 3 | F7 / F9 | F6 / F8 | F6 / F7 | G4 / F6 |
| ODA 4 | F7 / F9 | F6 / F8 | F6 / F7 | G4 / F6 |
| ODA 5 | F6/GF(*) / F9 | F6/GF(*) / F9 | F6 / F7 | G4 / F6 |

Tabla 6: Clases de filtración, (Tabla 1.4.2.5 del RITE corregida por el IDAE). Fuente: Guía Técnica de Instalaciones de climatización con equipos autónomos del IDAE.

La calidad del aire exterior se define por las categorías ODA tal como se indica en la siguiente tabla:

| ODA 1 | Aire puro que puede contener partículas sólidas (por ejemplo, polen) de forma temporal. |
|-------|---|
| ODA 2 | Aire con altas concentraciones de partículas. |
| ODA 3 | Aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos. |
| ODA 4 | Aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas. |
| ODA 5 | Aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas. |

Tabla 7: Categorías de calidad del aire exterior. Fuente: Guía Técnica de Instalaciones de climatización con equipos autónomos del IDAE.

En el caso en el que nos encontramos, la calidad del aire exterior será la correspondiente a la categoría ODA 2, y la categoría del aire interior IDA 2, por lo que la Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) encargada de la ventilación deberá tener un prefiltro tipo F6 y un filtro F8.

5.3.1.2. Recuperador de calor en la ventilación.

La ventilación de un edificio supone una oportunidad para el ahorro energético relacionado con la climatización. Las Unidades de Tratamiento de Aire impulsan aire del exterior al mismo tiempo que extrae el aire del interior del edificio. Las condiciones energéticas del aire del interior pueden ser muy aprovechables para pretratar el aire recogido del exterior para la impulsión.

En la instrucción técnica IT 1.2.4.5.2. del RITE se marca la obligatoriedad de emplear un recuperador de calor cuando el caudal de aire expulsado al exterior por medios mecánicos sea superior a $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que es claramente superado en el edificio en el que se está trabajando. La eficiencia mínima del recuperador de calor y las pérdidas de presión máximas quedan definidas en la siguiente tabla, que forma parte de la instrucción técnica IT 1.2.4.5.2:

| Horas anuales funcionamiento | Caudal de aire exterior (m^3/s) | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|-----|-------------|-----|-------------|-----|------------|-----|------|-----|
| | > 0,5 a 1,5 | | > 1,5 a 3,0 | | > 3,0 a 6,0 | | > 6,0 a 12 | | > 12 | |
| | % | Pa | % | Pa | % | Pa | % | Pa | % | Pa |
| $H_{\text{año}} \leq 2.000$ | 40 | 100 | 44 | 120 | 47 | 140 | 55 | 160 | 60 | 180 |
| $2.000 < H_{\text{año}} \leq 4.000$ | 44 | 140 | 47 | 160 | 52 | 180 | 58 | 200 | 64 | 220 |
| $4.000 < H_{\text{año}} \leq 6.000$ | 47 | 160 | 50 | 180 | 55 | 200 | 64 | 220 | 70 | 240 |
| $6.000 < H_{\text{año}}$ | 50 | 180 | 55 | 200 | 60 | 220 | 70 | 240 | 75 | 260 |

Tabla 8: Eficiencias mínimas de los recuperadores en calor sensible sobre el aire exterior. Fuente: Guía Técnica de Instalaciones de climatización con equipos autónomos del IDAE.

En nuestro caso particular, se supondrá un funcionamiento superior a las 6.000 horas anuales. Para la determinación del caudal de aire expulsado por medios mecánicos, la Guía Técnica de Instalaciones de climatización con equipos autónomos del IDEA propone considerar que su valor sea un 80% del caudal de ventilación, siendo el 20% restante el correspondiente con exfiltraciones para mantener el interior del edificio ligeramente presurizado. Se ha calculado anteriormente que el caudal de aire exterior aportado es de $21407,5 \text{ m}^3/\text{h}$, por lo que el caudal de extracción por medios mecánicos será $17126 \text{ m}^3/\text{h}$, que equivale a $4,76 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo la eficiencia mínima del recuperador de calor de 60%.

Para la recuperación de energía se distinguen principalmente dos modalidades de intercambiadores de calor: sensibles y entálpicos. El intercambiador de calor sensible únicamente intercambia energía aprovechando el salto térmico, mientras que en el intercambiador entálpico se aprovecha la temperatura y la humedad del aire.

Para determinar si emplear un intercambiador sensible o entálpico se representará y analizará la transformación psicrométrica que realizaría cada tipo de intercambiador en condiciones de verano y de invierno. Para ello nos serviremos del programa Sicro, que está disponible de forma gratuita en

la página web de Atecyr. Dicho programa también ha sido desarrollado por la Universidad Politécnica de Cartagena.

En verano se considerarán unas condiciones exteriores con una temperatura de 28,8 °C y una humedad relativa de 55%, y para invierno, una temperatura de 12 °C y una humedad relativa de 62%. Los datos anteriores se han establecido tomando como referencia las mediciones tomadas en 2017 por el Centro Meteorológico Territorial de Murcia. Las condiciones recomendadas en el interior de los edificios son las que se establecen en la siguiente tabla que define el RITE:

| Estación | Temperatura operativa (°C) | Humedad relativa (%) |
|----------|----------------------------|----------------------|
| Verano | 23...25 | 45...60 |
| Invierno | 21...23 | 40...50 |

Tabla 9: Condiciones interiores de los edificios.

Para la simulación se considera un caudal de aporte del exterior de 12250 m³/h, que es el correspondiente a la UTA responsable de la ventilación de la planta baja, primera y segunda del edificio. El caudal de extracción se fija en un 80% del caudal de aporte, tal como se definió con anterioridad, por lo que será de 9800 m³/h. Dentro de los rangos que fija el RITE para las condiciones interiores del edificio, se supondrán en verano una temperatura de 24 °C y una humedad relativa de 55%, y en invierno una temperatura de 22 °C y una humedad relativa de 45%. En la simulación se comparará los efectos de un intercambiador sensible y entálpico, suponiendo en ambos casos una eficiencia del 75%.

Se representará en diagramas psicrométricos los procesos en los intercambiadores, donde se pueden visualizar las propiedades de las dos corrientes que intervienen (aporte y extracción). En el nombre de los puntos de las corrientes, la terminación “1” indica la entrada al intercambiador, y la terminación “2” la salida.

Simulación del proceso en verano:

- Recuperador sensible:

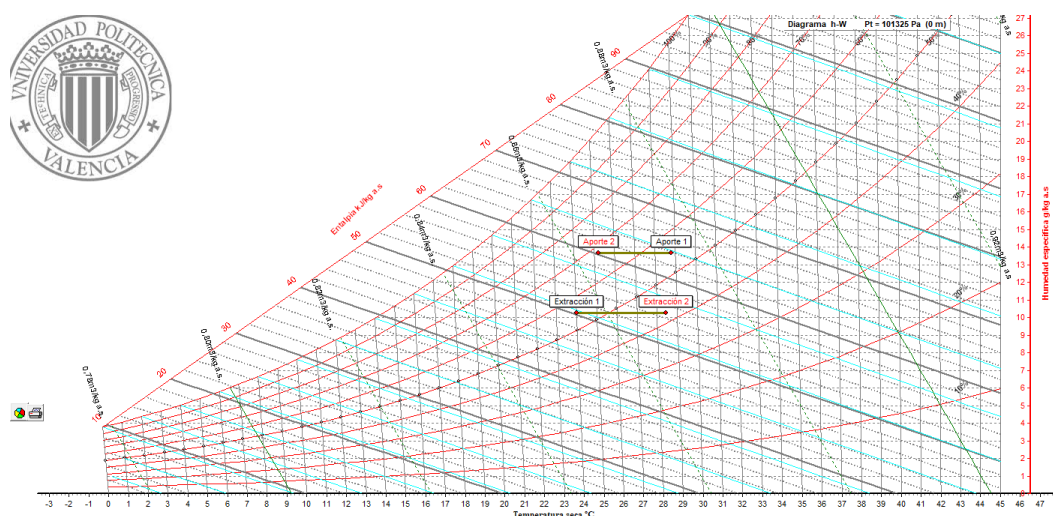


Figura 5: Proceso psicrométrico en el recuperador sensible en verano.

| Índice Eti. | Corriente | Proceso | m ³ /h | kg/s | T _s (°C) | Fi(%) | W(g/kgas) | h(kJ/kgas) | Th(°C) | Ti(°C) | Pv(Pa) | ve(m ³ /kgas) | den(kg/m ³) | mw(kg/h) | Qs(kW) | Ql(kW) | Qtl(kW) |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|--------|---------------------|-------|-------------|------------|--------|--------|--------|--------------------------|-------------------------|----------|---------|--------|---------|
| 1 | Aporte Aporte | corriente | 12250 | 3,8925 | 28,8 | 55 | 13,7 | 63,9 | 21,9 | 18,9 | 2179 | 0,8742 | 1,1596 | | | | |
| 2 | ExtracExtracción | corriente | 9800 | 3,1814 | 24,0 | 55 | 10,2 | 50,2 | 17,8 | 14,4 | 1642 | 0,8557 | 1,1807 | | | | |
| 3 | | Recup_Sensible | | | | | EFIsen(%)75 | | | | Método | UNE EN 308 | | | | | |
| 4 | Aporte Aporte | Recup_Sensible | 12104 | 3,8925 | 25,2 | 68 | 13,7 | 60,2 | 20,8 | 18,9 | 2179 | 0,8638 | 1,1735 | 0,0000 | -14,453 | 0,000 | |
| 5 | ExtracExtracción | Recup_Sensible | 9946 | 3,1814 | 28,4 | 42 | 10,2 | 54,8 | 19,3 | 14,4 | 1642 | 0,8684 | 1,1633 | 0,0000 | 14,453 | 0,000 | |

Tabla 10: Resumen de resultados del proceso en el intercambiador sensible en verano.

- Recuperador entálpico:

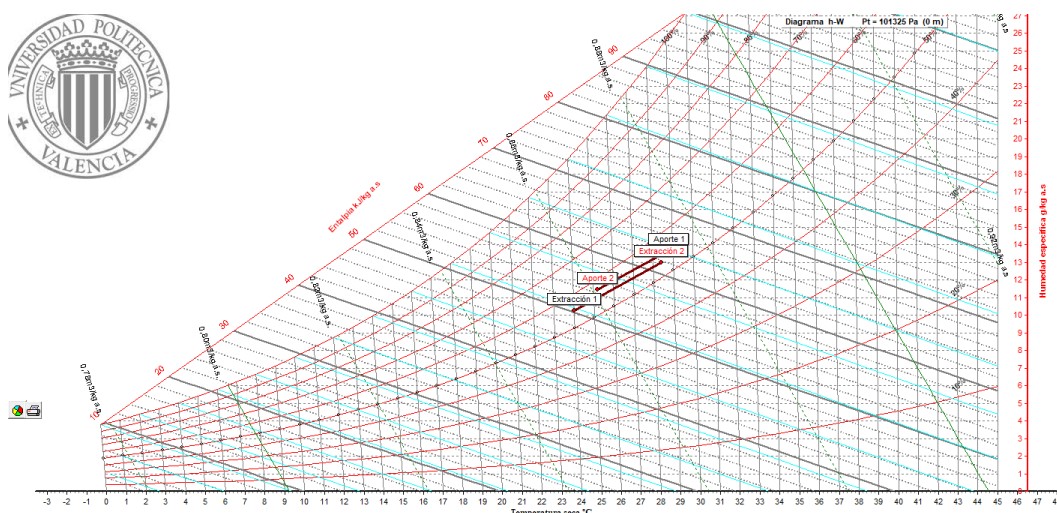


Figura 6: Proceso psicrométrico en el recuperador entálpico en verano.

| Índice | Et. | Corriente | Proceso | m ³ /h | kg/s | T _s (°C) | FI(%) | W(g/kgas) | h(kJ/kgas) | T _h (°C) | T _r (°C) | Pv(Pa) | ve(m ³ /kgas) | den(kg/m ³) | mw(kg/h) | Q _s (kW) | Q _t (kW) | Q _l (kW) |
|--------|--------|------------|------------------|-------------------|--------|---------------------|-------|-------------|------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------------|-------------------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aporte | Aporte | corriente | 12250 | 3,8925 | 28,8 | 55 | 13,7 | 63,9 | 21,9 | 18,9 | 2179 | 0,8742 | 1,1596 | | | | |
| 2 | Extrac | Extracción | corriente | 9800 | 3,1814 | 24,0 | 55 | 10,2 | 50,2 | 17,8 | 14,4 | 1642 | 0,8557 | 1,1807 | | | | |
| 3 | | | Recup_Entrálpico | | | | | EFIsen(%)75 | | EFIsat(%)65 | | Método | UNE EN 308 | | 31,2091 | | | 36,567 |
| 4 | Aporte | Aporte | Recup_Entrálpico | 12061 | 3,8925 | 25,2 | 57 | 11,4 | 54,5 | 19,2 | 16,1 | 1831 | 0,8607 | 1,1751 | | -31,2091-14,421 | -22,146 | |
| 5 | Extrac | Extracción | Recup_Entrálpico | 9989 | 3,1814 | 28,4 | 53 | 13,0 | 61,7 | 21,3 | 18,0 | 2070 | 0,8721 | 1,1615 | | 31,2091 14,427 | 22,140 | |

Tabla 11: Resumen de resultados del proceso en el recuperador entrálpico en verano.

Simulación del proceso en invierno:

- Recuperador sensible:

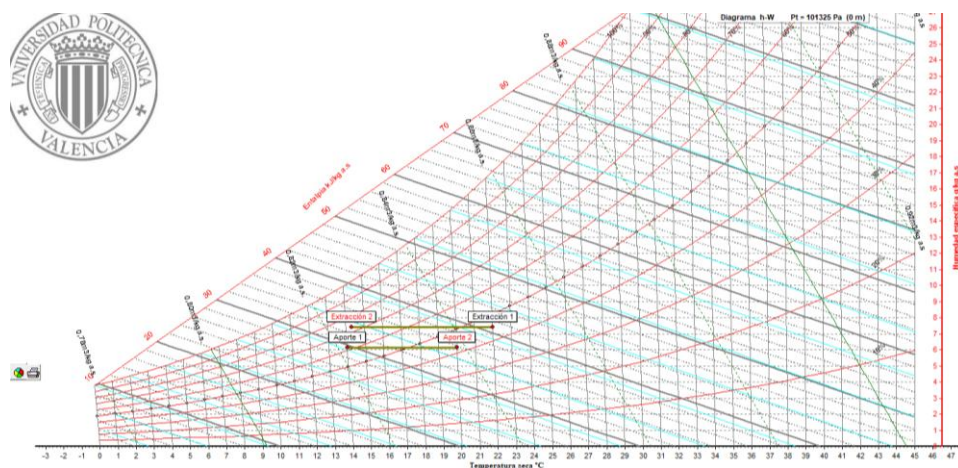


Figura 7: Proceso psicrométrico en el recuperador sensible en invierno.

| Índice | Et. | Corriente | Proceso | m ³ /h | kg/s | T _s (°C) | FI(%) | W(g/kgas) | h(kJ/kgas) | T _h (°C) | T _r (°C) | Pv(Pa) | ve(m ³ /kgas) | den(kg/m ³) | mw(kg/h) | Q _s (kW) | Q _t (kW) | Q _l (kW) |
|--------|--------|------------|----------------|-------------------|--------|---------------------|-------|-------------|------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------------|-------------------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Aporte | Aporte | corriente | 12250 | 4,1422 | 14,0 | 62 | 6,1 | 29,6 | 10,2 | 6,8 | 991 | 0,8215 | 1,2248 | | | | |
| 2 | Extrac | Extracción | corriente | 9800 | 3,2175 | 22,0 | 45 | 7,4 | 40,9 | 14,7 | 9,5 | 1190 | 0,8461 | 1,1907 | | | | |
| 3 | | | Recup_Sensible | | | | | EFIsen(%)75 | | | | Método | UNE EN 308 | | | | | |
| 4 | Aporte | Aporte | Recup_Sensible | 12506 | 4,1422 | 20,0 | 42 | 6,1 | 35,7 | 12,7 | 6,8 | 991 | 0,8387 | 1,1997 | 0,0000 | 25,286 | 0,000 | |
| 5 | Extrac | Extracción | Recup_Sensible | 9544 | 3,2175 | 14,3 | 73 | 7,4 | 33,1 | 11,6 | 9,5 | 1190 | 0,8240 | 1,2226 | 0,0000 | -25,286 | 0,000 | |

Tabla 12: Resumen de resultados del proceso en el recuperador entrálpico en verano.

- Recuperador entrálpico:

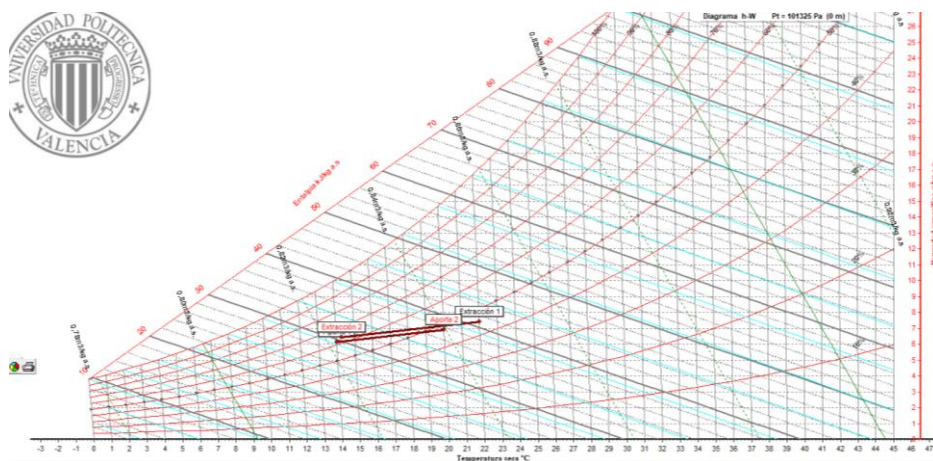


Figura 8: Proceso psicrométrico en el recuperador entrálpico en invierno.

| Índice | Eti. | Corriente | Proceso | m ³ /h | kg/s | Ts(°C) | F(%) | W(g/kgas) | h(kJ/kgas) | Th(°C) | Tf(°C) | Pv(Pa) | ve(m ³ /kgas) | den(kg/m ³) | mv(kg/h) | Qs(kW) | Ql(kW) | Qt(kW) |
|--------|---------|------------|-----------------|-------------------|--------|--------|------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------------------------|-------------------------|----------|---------|--------|--------|
| 1 | Aporte | Aporte | corriente | 12250 | 4,1422 | 14,0 | 62 | 6,1 | 29,6 | 10,2 | 6,8 | 991 | 0,8215 | 1,2248 | | | | |
| 2 | Extracc | Extracción | corriente | 9800 | 3,2175 | 22,0 | 45 | 7,4 | 40,9 | 14,7 | 9,5 | 1190 | 0,8461 | 1,1907 | | | | |
| 3 | | | Recup_Entalpico | | | | | EFIsen(%)75 | | EFIlaf(%)60 | | Método | UNE EN 308 | | 11,1658 | | | 33,142 |
| 4 | Aporte | Aporte | Recup_Entalpico | 12521 | 4,1422 | 20,0 | 47 | 6,9 | 37,6 | 13,4 | 8,5 | 1111 | 0,8397 | 1,1992 | 11,1658 | 25,270 | 7,872 | |
| 5 | Extracc | Extracción | Recup_Entalpico | 9529 | 3,2175 | 14,3 | 64 | 6,4 | 30,6 | 10,6 | 7,5 | 1037 | 0,8227 | 1,2233 | -11,1658 | -25,258 | -7,884 | |

Tabla 13: Resumen de resultados del proceso en el recuperador entálpico en invierno.

En los intercambiadores sensibles se observa que la evolución de las características de la corriente se desarrolla siguiendo una recta horizontal, manteniéndose constante la humedad específica, que está representada en el eje vertical de color rojo a la izquierda del diagrama.

En verano, en el recuperador sensible se produce entre la corriente de aporte y de extracción un intercambio energético de 14,453 kW, mientras que en el entálpico se produce un intercambio de 36,567 kW (14,421 kW corresponden a potencia sensible y 22,146 kW a potencia latente). La gran diferencia de potencias totales intercambiadas, al comparar las dos tipologías de recuperador, se debe a la importante disparidad que hay entre la humedad específica del exterior y del interior del edificio. En invierno se iguala bastante más las potencias de intercambio de ambos recuperadores. Se puede apreciar que, en este caso, la potencia latente intercambiada en el recuperador entálpico (7,872 kW) es bastante menor que la sensible (25,27 kW), por lo que en invierno el recuperador entálpico tiene una repercusión menor. Aunque un recuperador entálpico suponga una inversión inicial superior en comparación con un recuperador sensible, el aprovechamiento obtenido en verano es bastante importante. Además, hay que tener en cuenta que en Murcia el verano es una estación más crítica que el invierno, lo que hace más atractivo recurrir a un recuperador entálpico.

5.3.1.3. Consumo energético de la Unidad de Tratamiento de Aire.

Para la ventilación del edificio se seleccionarán dos Unidades de Tratamiento de Aire (UTA), una de ellas se destinará a la planta baja, primera y segunda, cuyo caudal de aporte suma 12213 m³/h, y la otra se será la responsable de la ventilación de la tercera y de la cuarta planta (con un caudal de aporte de 9194,5 m³/h.

Se seleccionan dos UTAs del catálogo de Daikin. Los modelos existentes, con las principales características, se representan en la siguiente tabla:

| D-AHU MODULAR R | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Caudal de aire | m ³ /h | 1.400 | 1.400 | 2.700 | 4.000 | 5.800 | 6.100 | 7.900 | 10.700 | 12.400 | 16.300 |
| Eficiencia de temperatura (invierno) | % | 77,5 | 82,0 | 79,6 | 80,3 | 78,4 | 79,6 | 79,5 | 77,9 | 78,9 | 79,2 |
| Presión estática externa | Nom. Pa | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| SFPv | kW/m ³ /s | 1,97 | 1,86 | 2,01 | 1,90 | 2,20 | 1,90 | 2,00 | 1,91 | 1,88 | 1,90 |
| Alimentación eléctrica | V-fase-Hz | 230-1-50 | 230-1-50 | 230-1-50 | 400-3+N-50 | 400-3+N-50 | 400-3+N-50 | 400-3+N-50 | 400-3+N-50 | 400-3+N-50 | 400-3+N-50 |
| Dimensiones | largo | mm | 1.700 | 1.700 | 1.800 | 1.920 | 2.080 | 2.280 | 2.450 | 2.280 | 2.400 |
| | Fondo | mm | 720 | 820 | 990 | 1.200 | 1.400 | 1.400 | 1.600 | 1.940 | 2.300 |
| | Alto | mm | 1.320 | 1.320 | 1.540 | 1.740 | 1.740 | 1.920 | 1.920 | 2.180 | 2.570 |

Tabla 14: Modelos de UTAs de Daikin.

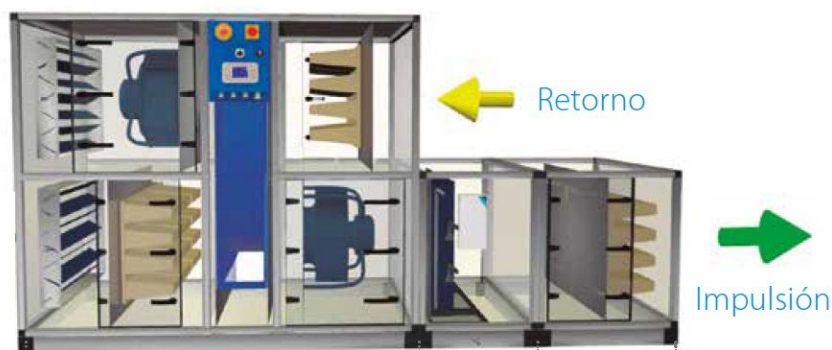


Figura 9: Representación esquemática de una UTA.

Para la planta baja, primera y segunda se seleccionará el modelo D-AHU MODULAR R Tamaño 9, y para la tercera y la cuarta planta se escoge el modelo D-AHU MODULAR R Tamaño 8. Las UTAs se ubicaran en la cubierta del edificio. La potencia instantánea consumida por cada UTA vendrá definida por el “SFPv”, que define el valor de la potencia en función del caudal aportado.

A partir de la potencia instantánea en cada momento se obtendrá el consumo energético. Se considerará que las UTAs funcionarán al 100% del caudal de aporte calculado durante toda la jornada, excepto durante la primera hora de la mañana (de 7:00 a 8:00) y las dos últimas horas de la tarde (de 19:00 a 21:00), donde funcionarán al 50% del caudal total. Durante el resto de horas del día, las UTAs funcionaran al 5%. En la siguiente tabla se indica la cantidad de energía consumida por cada una de las UTAs a lo largo de cada día:

| | % Capacidad | Energía UTA 8 (kWh) | Energía UTA 9 (kWh) |
|-------|-------------|---------------------|---------------------|
| 0:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 1:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 2:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 3:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 4:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 5:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 6:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 7:00 | 75,00% | 3,66 | 4,78 |
| 8:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 9:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 10:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 11:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 12:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 13:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 14:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 15:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 16:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |

| | | | |
|------------------------------|---------|--------------|--------------|
| 17:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 18:00 | 100,00% | 4,88 | 6,38 |
| 19:00 | 75,00% | 3,66 | 4,78 |
| 20:00 | 75,00% | 3,66 | 4,78 |
| 21:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 22:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| 23:00 | 5,00% | 0,24 | 0,32 |
| Consumo diario (kWh): | | 67,08 | 87,70 |

Tabla 15: Energía consumida durante cada hora por las UTAs.

Entre las dos UTAs se consume cada día 154,77 kWh de energía. Extendiendo este valor para todos los días laborales del año, resulta un consumo anual de 39466,68 kWh.

5.3.2. Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración.

Para simular a nivel térmico el edificio propuesto se trabajará con la versión 2.3 de VP Clima. Mediante este programa se obtendrá la demanda de calefacción y refrigeración del edificio propuesto. Para ello habrá que introducir: las condiciones exteriores, el uso del edificio y los datos del edificio (configuraciones geométricas y materiales de construcción).

5.3.2.1. Condiciones exteriores.

El programa VP Clima dispone de una base de datos con la información climatológica de las localidades más importantes de España. Se seleccionará la localidad de Murcia que es donde está ubicado el edificio propuesto.

Para considerar una mayor probabilidad de producirse condiciones extremas, tanto por temperaturas altas como por temperaturas bajas, el programa permite definir unos niveles de percentiles anuales asociados (NPA) asociados a estos casos. Se considerará unos niveles típicos, siendo de 1% para refrigeración (temperatura superior a 35°C), y de 99% para calefacción (temperatura superior a -3°C).

En las siguientes figuras se puede observar la introducción de los datos en el programa VP Clima para definir las condiciones exteriores del edificio y un gráfico en 3D que representa el valor de la temperatura exterior a lo largo de todo el año:

Características generales de la localidad

Localidad: Murcia (7178I) Zona Climática: B3

Altitud [m]: 62.00 Latitud [°]: 38.00 Temp.terreno [°C]: 5.00

Fichero climático demanda:
bin\murcia.bin

Materiales circundantes:
Estandar

Turbiedad atmósfera:
Estandar

Aire acondicionado (Refrigeración)
Nivel percentil[%]: 0.4%(1%)

Ts,ext,max[°C]: 36.40 Hr,coinc.[%]: 28.24 OMD[°C]: 15.10 OMA[°C]: 34.20

Calefacción
Nivel percentil[%]: 99.6%(99%) OMDinv. = OMD * 0.50

Ts,ext,min[°C]: 2.20 Hr,coinc.[%]: 82.20

Figura 9: Definición de las condiciones exteriores en el programa VP Clima.

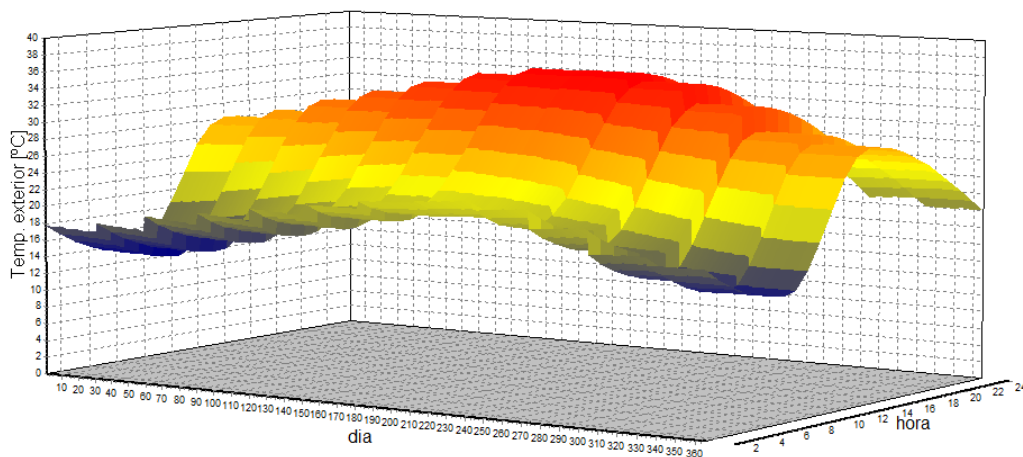


Figura 10: Representación en 3D de la temperatura exterior.

5.3.2.2. Uso del edificio.

Con la definición del uso del edificio se establecen las condiciones interiores, la ventilación del edificio y las cargas térmicas que suponen los ocupantes, la iluminación y los equipos. Las condiciones interiores deberán encontrarse dentro de los intervalos marcados en la tabla 9. En la simulación se establecerá en invierno una temperatura de 22°C y una humedad relativa del 45%, y en verano una temperatura de 24°C y una humedad relativa de 55%.

La ventilación se definió en apartados anteriores que sería de 45 m³/h. El edificio tiene una superficie útil de 2258,37 m², y una ocupación de 390 personas, por lo que, asumiendo una distribución uniforme, se corresponde un ratio de 5,8 m² por persona. El trabajo característico de una oficina se corresponde con el tipo de actividad: “sentado trabajo muy ligero”, lo que minimizará

la carga térmica que conforman los ocupantes del edificio. El horario de funcionamiento del edificio será de 7:00 a 20:00, aunque la ocupación será del 100% de 8:00 a 18:00, siendo del 50% de 7:00 a 8:00, y de 18:00 a 20:00.

Respecto a la iluminación, se considerarán luces LED debido a que su mayor eficiencia las hace adecuadas en la configuración de un edificio de consumo energético casi nulo. Se supondrá una potencia de calentamiento de 3 W/m^2 . Para finalizar la definición de las cargas térmicas, se estima una ganancia sensible de 10 W/m^2 por parte de los equipos de oficina.

Finalmente se incluye el sistema de recuperación de calor que se definió anteriormente, que consiste en unos recuperadores entálpicos de una eficiencia del 78%. Que la toma de aire exterior sea definida en el VP Clima como: “directa local”, significa que las cargas debidas a ventilación las debe compensar los equipos de climatización existentes en el local, que estarán por las unidades interiores que se definirán con posterioridad en este trabajo.

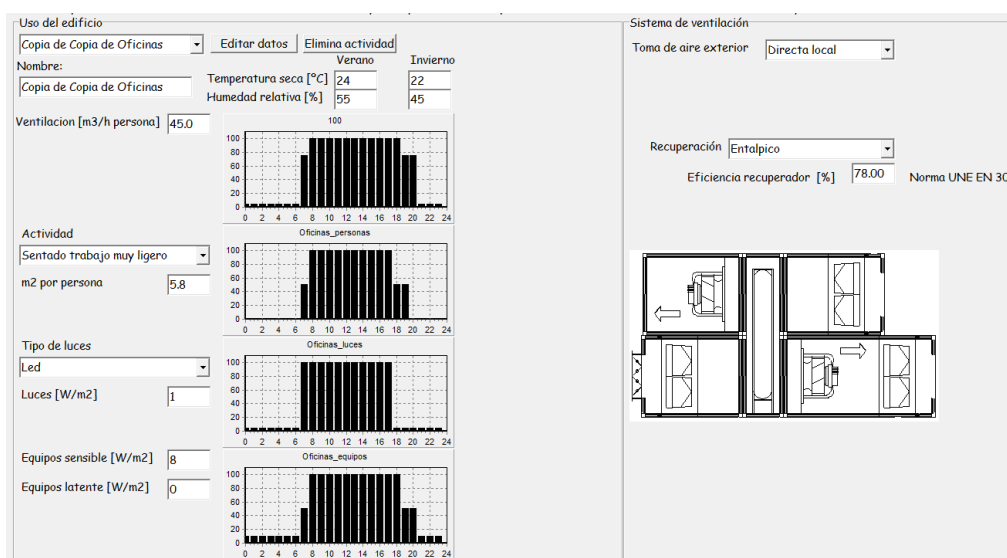


Figura 11: Definición del uso del edificio en el programa VP Clima.

5.3.2.3. Definición del edificio.

Para finalizar la introducción de datos para la simulación de la demanda energética para climatizar el edificio, queda definir el edificio en cuanto a dimensiones (superficie y altura), orientación y materiales de las distintas zonas que constituyen la construcción.

El edificio tiene sus cuatro fachadas orientadas hacia el noroeste, noreste, sureste y suroeste respectivamente. La altura libre entre techo y suelo en el interior del edificio es de unos 2,75 metros.

En referencia a los materiales de construcción cabe destacar los parámetros característicos de la envolvente que establece el CTE en el Documento Básico de Ahorro de Energía 1 según la zona climática donde esté ubicado el edificio. El emplazamiento del edificio propuesto se corresponde con la zona climática B3. En la siguiente tabla se pueden ver los valores característicos para transmitancia límite y el factor solar modificado límite de huecos para un edificio en la zona climática B3:

D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

| | |
|--|--|
| Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno | $U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Transmitancia límite de suelos | $U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Transmitancia límite de cubiertas | $U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| Factor solar modificado límite de lucernarios | $F_{Llim}: 0,30$ |

| % de huecos | Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | | | | Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim} | | | | | |
|-------------|---|-----|-----|-------|---|---|-------|--------------------------------------|------|-------|
| | | | | | Baja carga interna | | | Media, alta o muy alta carga interna | | |
| | N/NE/NO | E/O | S | SE/SO | E/O | S | SE/SO | E/O | S | SE/SO |
| de 0 a 10 | 5,4 | 5,7 | 5,7 | 5,7 | - | - | - | - | - | - |
| de 11 a 20 | 3,8 | 4,9 | 5,7 | 5,7 | - | - | - | - | - | - |
| de 21 a 30 | 3,3 | 4,3 | 5,7 | 5,7 | - | - | - | 0,57 | - | - |
| de 31 a 40 | 3,0 | 4,0 | 5,6 | 5,6 | - | - | - | 0,45 | - | 0,50 |
| de 41 a 50 | 2,8 | 3,7 | 5,4 | 5,4 | 0,53 | - | 0,59 | 0,38 | 0,57 | 0,43 |
| de 51 a 60 | 2,7 | 3,6 | 5,2 | 5,2 | 0,46 | - | 0,52 | 0,33 | 0,51 | 0,38 |

Tabla 16: Valores característicos de la transmitancia límite y del factor solar modificado límite de un edificio ubicado en la zona climática B3.

Las fachadas ventiladas son un recurso típico en la construcción de un edificio nZEB, con los que se pueden obtener unas transmitancias bastante menores a las marcadas como límite en la tabla anterior. Esta solución consiste en disponer de una doble capa en el cerramiento del edificio, entre las cuales habrá una cámara de aire. La fachada ventilada se compone de una capa de material aislante en la parte exterior del muro de soporte del edificio, a la cual se le instala una segunda capa, mediante un sistema de fijación, quedando entre ambos elementos una zona de ventilación.

[27]



Figura 12: Esquema de las partes de una fachada ventilada. Imagen extraída de <https://coolhaus.es/fachada-ventilada>.

Mediante este sistema se consigue aislar el edificio, lo que se traduce en un considerable ahorro en la climatización del edificio. Una opción consiste en colocar paneles fotovoltaicos en la capa externa de la fachada ventilada, de modo que se cumple una doble función, producir energía eléctrica y aislar térmicamente el edificio.

Según la información aportada en los catálogos de empresas especializadas en fachadas ventiladas, como Knauf o Teczone, los valores de la transmitancia en este tipo de sistemas puede llegar hasta los $0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Para adoptar una postura conservadora, en la introducción de los datos en el programa VP Clima se considerará $0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Para el resto de componentes del edificio se considerará los valores indicados en la tabla 16.

El edificio contará en cada planta con una ventana continua que transcurrirá a lo largo de toda la fachada. Sobre la ventana se dispondrá de unos paneles solares a modo de marquesina que protegerán a la superficie acristalada de la ventana de la radiación solar, con el consiguiente ahorro en la refrigeración en verano. La colocación de los paneles fotovoltaicos como marquesinas supone una superficie extra de captación que incrementa la generación de energía para abastecer el edificio. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de definición de una marquesina en una local del edificio.

- Cargas de refrigeración:

| Cargas de refrigeración | | |
|-------------------------|--------|----------|
| Fecha máxima carga: | Agosto | Hora: 15 |
| CARGAS EDIFICIO | Total | Sensible |
| Total[kW] | 295.02 | 263.30 |
| Ratio[W/m2] | 79.12 | 70.61 |
| Ocupantes [kW] | 45.34 | 28.19 |
| Luces [kW] | 10.42 | 10.42 |
| Equipos [kW] | 18.64 | 18.64 |
| Ventilación [kW] | 62.63 | 52.35 |
| Cerramientos [kW] | 42.73 | 42.73 |
| Huecos [kW] | 75.47 | 75.47 |
| Puentes térmicos [kW] | 0.00 | 0.00 |
| Mayoración [kW] | 39.79 | 35.50 |

Tabla 16: Cargas de refrigeración en el mes más desfavorable.

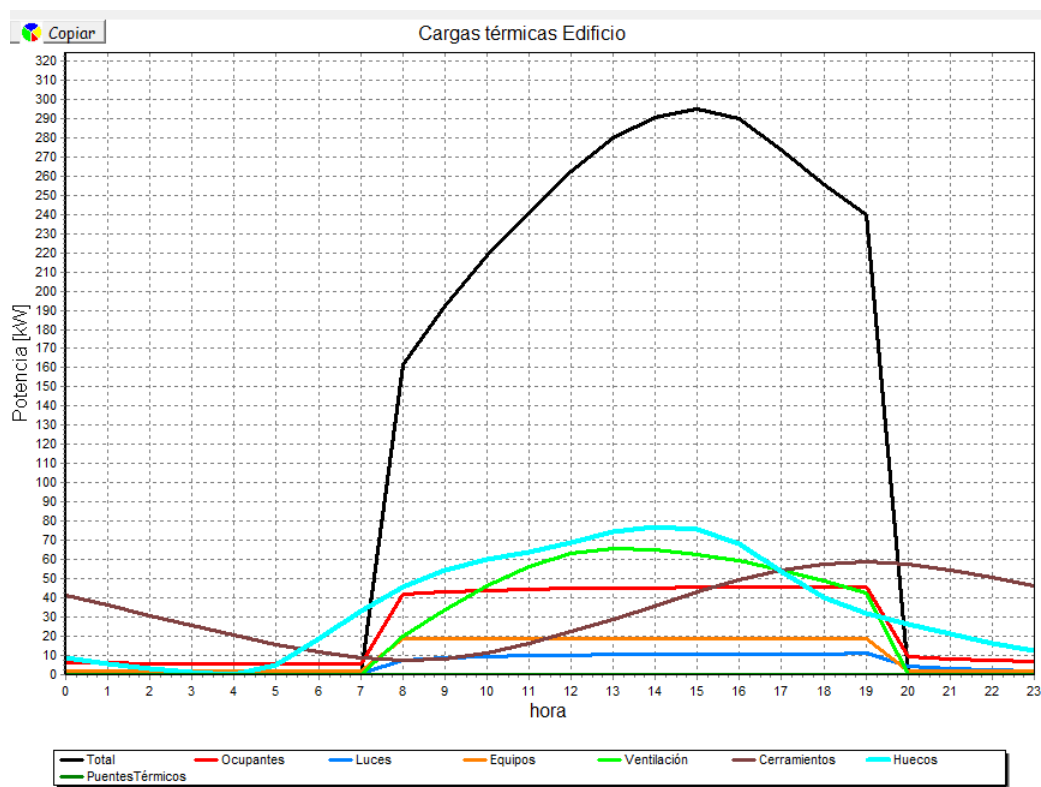


Figura 15: Evolución de las cargas térmicas de refrigeración a lo largo de un día del mes más desfavorable.

- Cargas de calefacción:

| Cargas de calefacción | | |
|-----------------------|---------|----------|
| Fecha máxima carga: | Enero | Hora: 8 |
| CARGAS EDIFICIO | Total | Sensible |
| Total[kW] | -276.32 | -237.00 |
| Ratio[W/m2] | -74.10 | -63.56 |
| Ocupantes [kW] | 0.00 | 0.00 |
| Luces [kW] | 0.00 | 0.00 |
| Equipos [kW] | 0.00 | 0.00 |
| Ventilación [kW] | -127.37 | -93.37 |
| Cerramientos [kW] | -82.38 | -82.38 |
| Huecos [kW] | -29.26 | -29.26 |
| Puentes térmicos [kW] | 0.00 | 0.00 |
| Mayoración [kW] | -37.31 | -31.99 |

Tabla 17: Cargas de calefacción en el mes más desfavorable.

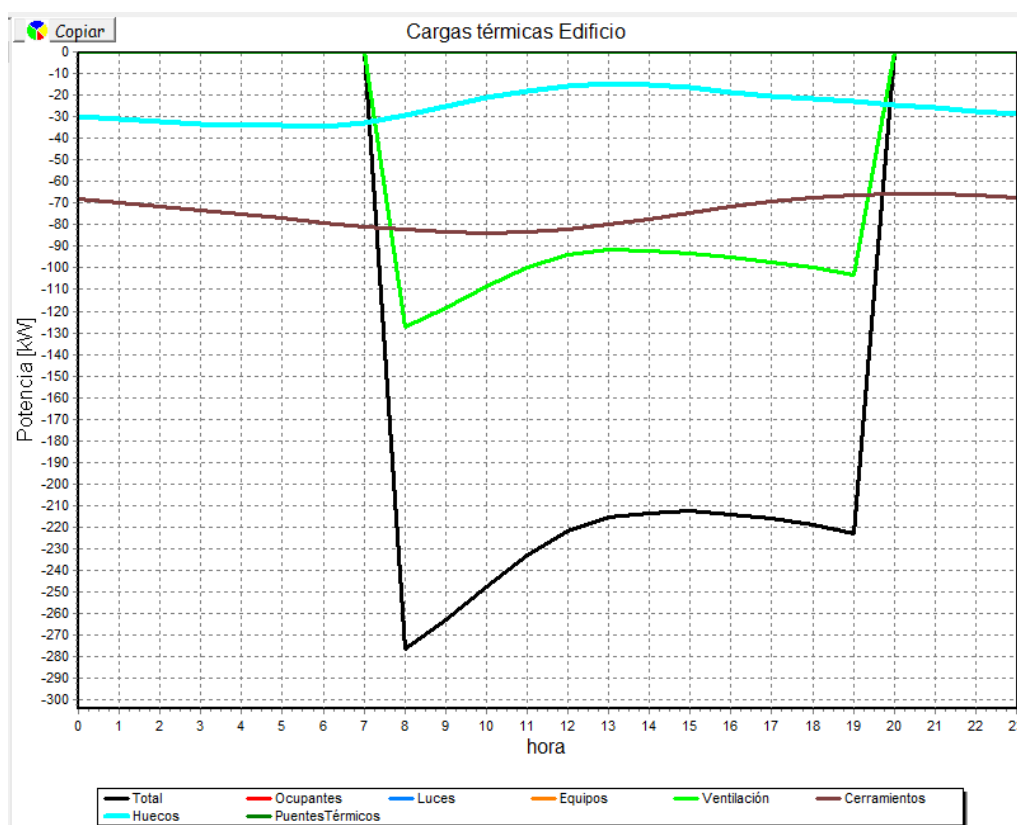


Figura 16: Evolución de las cargas térmicas de calefacción a lo largo de un día del mes más desfavorable.

Las potencias máximas de refrigeración y de calefacción obtenidas, que se corresponden con el momento más crítico del año, serán el dato que determinará la capacidad del sistema de climatización. Para la refrigeración la potencia requerida es de 295,02 kW, y para la calefacción es de 276,32 kW.

Los resultados de la demanda energética correspondientes para cada mes se muestran en las siguientes figuras. En la figura 17 se representa mediante un diagrama de barras la energía necesaria para la climatización de cada mes. En la figura 18 queda reflejado en un gráfico en 3D la potencia instantánea para la climatización durante cada hora de cada uno de los 365 días del año.

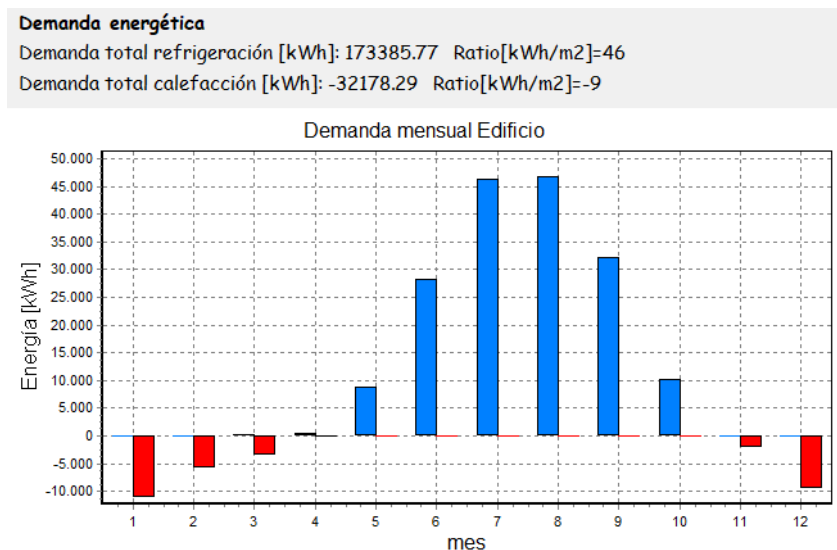


Figura 17: Representación de la demanda energética mensual para la climatización del edificio.

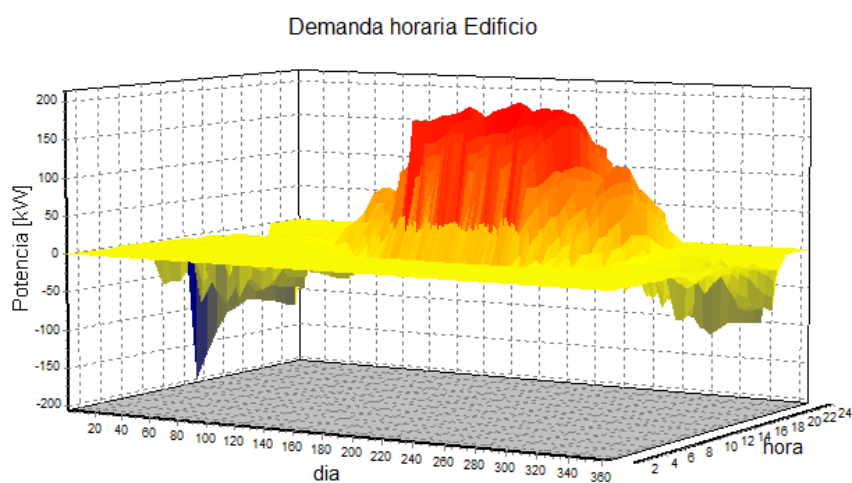


Figura 18: Representación de la demanda energética horaria para la climatización del edificio.

5.3.3. Diseño del sistema de climatización.

Tras la simulación de las necesidades energéticas de climatización del edificio y haber obtenido los resultados, se procede al diseño del sistema de climatización que establezca las condiciones interiores deseadas compensando las cargas térmicas existentes en el edificio. El sistema de climatización consistirá en unos conjuntos compuestos por unidades exteriores que se encargan de la producción del frío o del calor, y de unas unidades interiores que se encargan de la distribución

por las diferentes zonas del edificio. Se empleará un sistema de volumen de refrigerante variable (variable refrigerant flow, VRF) de gran eficiencia y con unas necesidades de espacio reducidas.

5.3.3.1. Descripción de la bomba de calor y del sistema VRF.

El concepto más básico de una bomba de calor consiste en un circuito de refrigerante cerrado compuesto por un compresor, una válvula de expansión y dos intercambiadores, uno de ellos estará en la unidad exterior y el otro en la unidad interior, donde un intercambiador hará la función de condensador y el otro de evaporador. La clave del funcionamiento de este tipo de sistemas reside en el cambio de fase de fluido refrigerante.

En modo refrigeración el condensador se sitúa en el exterior, y el evaporador en el interior. Al salir del evaporador, el fluido está en fase gaseosa a baja temperatura. Posteriormente, se hace pasar por el compresor que incrementa la temperatura del fluido. Seguidamente, al pasar por el condensador (en la unidad exterior) el refrigerante pasa a fase líquida, cediendo energía al exterior. Después, en la válvula de expansión, se produce una bajada repentina de la presión, reduciendo la temperatura del fluido. Finalmente, el refrigerante a baja temperatura y en estado líquido pasa por el intercambiador de calor de la unidad interior (que hace la función de evaporador), y absorbe energía de la estancia, pasando el fluido a fase gaseosa. El funcionamiento en modo calefacción es similar, pero el cambio reside que se invierten las funciones de la unidad interior y exterior, siendo en este caso el condensador el intercambiador de calor ubicado en el interior, y el evaporador en el exterior. Esta modificación en las funciones de los intercambiadores se consigue por medio de una válvula de cuatro vías.

La ventaja de este sistema reside en que del total de la energía necesaria para refrigerar o calefactar, una parte es la que consume el compresor y el resto es la energía que contiene el aire exterior.

La bomba de calor se puede implementar mediante sistemas VRF, que consisten en unas unidades exteriores que se conectan a varias unidades interiores. La unidad exterior se encarga de gestionar la distribución del fluido refrigerante por las distintas unidades interiores en función de la demanda energética requerida. Estos sistemas de expansión directa se caracterizan por tener una excelente eficiencia energética y un control bastante optimizado. Además su instalación y mantenimiento es muy simple. Las unidades exteriores consisten en unos módulos compactos que ocupan poco espacio, lo que supone otra ventaja si se tiene en cuenta que compartirán la zona de cubierta con la instalación fotovoltaica.

5.3.3.2 Unidades exteriores.

Se optará por emplear equipos de climatización de la marca Mitsubishi Electric, que se caracterizan por unas elevadas eficiencias. En los resultados de la simulación del edificio se obtuvo en los casos más críticos una potencia de refrigeración de 295,02 kW (relativo al mes de agosto), y una potencia de calefacción de calefacción de 276,32 kW (relativo al mes de enero). Será por tanto la potencia de refrigeración la que determine el dimensionado de la máquina. Las unidades exteriores tienen, por lo general, unas potencias de refrigeración y calefacción similares.

En la siguiente tabla se muestra las potencias frigoríficas correspondientes a cada planta con las unidades exteriores asociadas. Se han seleccionado unidades exteriores de la serie Y-EP:

| Planta | Demanda frigorífica (kW) | Modelo unidad exterior | Potencia frigorífica unidad exterior (kW) |
|--------|--------------------------|----------------------------------|---|
| PB | 52,15 | PUHY-EP1050YSNW-A (3 módulos) | 118 |
| P1 | 62,83 | | |
| P2 | 62,83 | PUHY-EP550YSNW-A (2 módulos) | 63 |
| P3 | 62,83 | PUHY-EP1100YSNW-A (3 módulos) | 124 |
| P4 | 57,38 | | |

Tabla 18: Unidades exteriores asociadas a cada planta.

En las siguientes figuras se muestran las especificaciones técnicas de las unidades exteriores seleccionadas:

Serie PUHY-EP400~650YSNW • 2 Módulos



| MODELO | | | PUHY-EP400YSNW-A | PUHY-EP450YSNW-A | PUHY-EP500YSNW-A | PUHY-EP550YSNW-A | PUHY-EP600YSNW-A | PUHY-EP650YSNW-A |
|---|---------------------------------------|----|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Capacidad Nominal | Refrigeración / Calefacción | kW | 45 / 50 | 50 / 56 | 56 / 63 | 63 / 69 | 69 / 76,5 | 73 / 81,5 |
| Consumo Nominal | Refrigeración / Calefacción | kW | 8,27 / 9,27 | 9,67 / 10,58 | 11,31 / 12,09 | 13,1 / 13,77 | 14,75 / 15,79 | 16,32 / 18,47 |
| Eficiencia Energética | EER / COP / COP*1 | | 5,44 / 5,39 / 5,63 | 5,17 / 5,29 / 5,49 | 4,95 / 5,21 / 5,37 | 4,8 / 5,01 / 5,28 | 4,67 / 4,84 / 5,20 | 4,47 / 4,41 / 4,84 |
| | SEER / SCOP (EN14825) | | 8,94 / 4,67 | 8,94 / 4,51 | 8,98 / 4,39 | 8,79 / 4,27 | 8,64 / 4,13 | 8,53 / 4,15 |
| Interiores Conectables | Capacidad Total de la unidad exterior | | 50 ~ 130% | | | | | |
| | Modelo / Cantidad | | P15~P250 / 1~34 | P15~P250 / 1~39 | P15~P250 / 1~43 | P15~P250 / 2~47 | P15~P250 / 2~50 | |
| Alimentación | Fases, V/Hz | | 3, 380~415V/50-60Hz | | | | | |
| Intensidad Máxima | A | | 32,20 | 32,50 | 32,80 | 36,70 | 40,60 | 44,60 |
| Diam. Tuberías líquido/gas | mm | | 12,7 / 28,58 | 15,88 / 28,58 | 15,88 / 28,58 | 15,88 / 28,58 | 15,88 / 28,58 | 15,88 / 28,58 |
| Nivel Sonoro (refrigeración/calefacción) | dB(A) | | 61,0/62,0 | 62,0/63,0 | 63,0/64,0 | 63,5/66,0 | 64,0/67,5 | 66,5/67,0 |
| Potencia sonora (refrigeración/calefacción) | dB(A) | | 78,0/81,0 | 80,0/82,0 | 81,0/93,0 | 82,0/85,0 | 83,0/86,5 | 84,0/86,0 |
| Módulos* | PUHY-EP#YNW-A | | 200 + 200 | 250 + 200 | 250 + 250 | 300 + 250 | 300 + 300 | 400 + 250 |
| Kit de conexión incluido en el set | | | CMY-Y100VBK3 | CMY-Y100VBK3 | CMY-Y100VBK3 | CMY-Y100VBK3 | CMY-Y100VBK3 | CMY-Y100VBK3 |
| Dimensiones (Ancho x Alto x Fondo) | | | mm | | 1.840 x 1.858 x 740 | | | |
| Refrigerante R410A | Pre-carga Kg / PCA / TCO, eq | | 13 / 2.088 / 27,14 | 13 / 2.088 / 27,14 | 13 / 2.088 / 27,14 | 13 / 2.088 / 27,14 | 13 / 2.088 / 27,14 | 17,3 / 2.088 / 36,12 |

Figura 17: Especificaciones técnicas de las unidades exteriores de la serie Y-EP (I).

Serie PUHY-EP950~1150YSNW • 3 Módulos



| MODELO | | | PUHY-EP950YSNW-A | PUHY-EP1000YSNW-A | PUHY-EP1050YSNW-A | PUHY-EP1100YSNW-A | PUHY-EP1150YSNW-A |
|---|---------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Capacidad Nominal | Refrigeración / Calefacción | kW | 108 / 119,5 | 113 / 127 | 118 / 132 | 124 / 140 | 130 / 145 |
| Consumo Nominal | Refrigeración / Calefacción | kW | 23,62 / 25,79 | 25,33 / 28,7 | 27,05 / 31,26 | 28,56 / 33 | 30,56 / 35,6 |
| Eficiencia Energética | EER / COP / COP*1 | | 4,57 / 4,63 / 4,88 | 4,46 / 4,42 / 4,79 | 4,36 / 4,22 / 4,71 | 4,34 / 4,24 / 4,63 | 4,25 / 4,07 / 4,56 |
| | SEER / SCOP (EN14825) | | 8,58 / 4,11 | 8,57 / 4,09 | 8,54 / 4,09 | 8,40 / 4,00 | 8,39 / 4,00 |
| Interiores Conectables | Capacidad Total de la unidad exterior | | | | 50 ~ 130% | | |
| | Modelo / Cantidad | | P15~P250 / 2~50 | | P15~P250 / 3~50 | | |
| Alimentación | | Fases, V/Hz | 3, 380~415V/50-60Hz | | | | |
| Intensidad Máxima | | A | 64,60 | 68,70 | 72,80 | 76,40 | 80,50 |
| Diam. Tuberías líquido/gas | | mm | 19,05 / 41,28 | 19,05 / 41,28 | 19,05 / 41,28 | 19,05 / 41,28 | 19,05 / 41,28 |
| Nivel Sonoro (refrigeración/calefacción) | | dB(A) | 66,0/67,5 | 68,0/68,5 | 68,5/69,0 | 68,5/69,0 | 69,0/69,5 |
| Potencia sonora (refrigeración/calefacción) | | dB(A) | 84,5/86,5 | 85,5/87,5 | 86,0/88,0 | 86,0/89,0 | 86,5/88,5 |
| Módulos | PUHY-EP#YNW-A | | 350 + 350 + 250 | 400 + 350 + 250 | 400 + 400 + 250 | 400 + 350 + 350 | 400 + 400 + 350 |
| Kit de conexión incluido en el set | | | CMY-Y300VBK3 | CMY-Y300VBK3 | CMY-Y300VBK3 | CMY-Y300VBK3 | CMY-Y300VBK3 |
| Dimensiones (Ancho x Alto x Fondo) | | mm | 3.400 x 1.858 x 740 | | 3.720 x 1.858 x 740 | | |
| Refrigerante R410A | Pre-carga Kg / PCA / TCO, eq | | 26,1 / 2.088 / 54,49 | 27,1 / 2.088 / 56,58 | 28,1 / 2.088 / 58,67 | 30,4 / 2.088 / 63,48 | 31,4 / 2.088 / 65,56 |

Figura 18: Especificaciones técnicas de las unidades exteriores de la serie Y-EP (II).

Para obtener el consumo energético de una máquina de climatización se recurre a una serie de parámetros de eficiencia energética como son el EER y el COP. Tanto el EER como el COP expresan la relación entre la potencia térmica proporcionada y la potencia eléctrica consumida en condiciones de funcionamiento nominales. El EER se aplica cuando la máquina trabaja en modo refrigeración, y el COP se emplea cuando trabaja en modo calefacción.

Los parámetros anteriormente descritos son corregidos por el Reglamento Delegado (UE) N° 626/2011 de la Comisión, mediante la definición del SEER y el SCOP. Estos parámetros toman en consideración las condiciones de diseño de referencia y las horas de funcionamiento por modo de funcionamiento pertinente, por lo que se ajustarán mejor que el EER y el COP para predecir el consumo energético a nivel estacional.

En la siguiente tabla se representa el consumo energético mensual de las tres unidades exteriores. Para el cálculo del consumo eléctrico de refrigeración se ha dividido la demanda energética de refrigeración del edificio entre el SEER de las máquinas. Para obtener el consumo eléctrico de calefacción se procederá de forma similar, pero en este caso se dividirá la demanda de calefacción entre el SCOP.

| | Demanda energética edificio | | Consumo eléctrico unidades exteriores | |
|--------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | Refrigeración (kWh) | Calefacción (kWh) | Refrigeración (kWh) | Calefacción (kWh) |
| Enero | 0,00 | 11.142,00 | 0,00 | 1.306,21 |
| Febrero | 0,00 | 5.735,00 | 0,00 | 672,33 |
| Marzo | 138,00 | 3.527,00 | 16,18 | 413,48 |
| Abril | 535,00 | 209,00 | 62,72 | 24,50 |
| Mayo | 8.759,00 | 0,00 | 1.026,85 | 0,00 |
| Junio | 28.306,00 | 0,00 | 3.318,41 | 0,00 |
| Julio | 46.307,00 | 0,00 | 5.428,72 | 0,00 |
| Agosto | 46.733,00 | 0,00 | 5.478,66 | 0,00 |
| Septiembre | 32.213,00 | 0,00 | 3.776,44 | 0,00 |
| Octubre | 10.303,00 | 0,00 | 1.207,85 | 0,00 |
| Noviembre | 93,00 | 2.159,00 | 10,90 | 253,11 |
| Diciembre | 0,00 | 9.406,00 | 0,00 | 1.102,70 |
| Total | 173.387,00 | 32.178,00 | 20.326,73 | 3.772,33 |

Tabla 19: Consumo eléctrico mensual de las unidades exteriores.

5.3.3.3. Unidades interiores.

Se emplearán unidades interiores de conductos para la distribución del frío o del calor por las distintas estancias del edificio. Esta clase de máquina se ubican en el falso techo de una zona donde haya gente de forma permanente, como por ejemplo, los aseos, de modo que el ruido que generen moleste lo menos posible. La distribución del aire climatizado se efectuará por medio de unos conductos fabricados en panel de lana de vidrio tipo Isover que transcurrirá por el falso techo, que tendrá las correspondientes salidas a las estancias del edificio por medio de difusores rotacionales. Los difusores rotacionales estarán conectados a un sistema de zonificación tipo

Airzone, de modo que dependiendo de la información recogida por los termostatos de zona se irá regulando el caudal de aire climatizado.

En las siguientes tablas se especifican las unidades interiores que hay en cada planta, indicando las zonas que abastecen:

- Planta baja:

| | Superficie (m2) | Potencia (KW) | Modelo de máquina interior | Potencia unidad interior (kW) |
|---------------------|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| Pasillo - entrada | 64,5 | 5,29 | PEFY-P250VMHS-E | 28 |
| Pasillo curas | 25,45 | 2,09 | | |
| Sala curas grande | 19,61 | 1,61 | | |
| Salas curas pequeña | 12,5 | 1,02 | | |
| Zona diáfana B.1 | 151,5 | 12,42 | | |
| Despacho B.1 | 14,4 | 1,18 | PEFY-P140VMHS-E | 16 |
| Pasillo SSGG | 35,6 | 2,92 | | |
| Pasillo comedor | 28 | 2,29 | | |
| Sala vigilancia | 20,45 | 1,68 | | |
| Sala SSGG | 112,9 | 9,25 | | |
| Zona diáfana B.3 | 153,56 | 12,58 | PEFY-P140VMHS-E | 16 |
| Despacho B.3 | 15,12 | 1,24 | | |
| Sala reuniones B.3 | 18,13 | 1,49 | | |

Tabla 20: Relación de unidades interiores en la planta baja.

- Planta primera/segunda/tercera:

| | Superficie (m2) | Potencia (KW) | Modelo de máquina interior | Potencia unidad interior (kW) |
|---------------------|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| Pasillo ascensor 1 | 32,3 | 2,65 | PEFY-P200VMHS-E | 22,4 |
| Zona diáfana 1.1 | 190,5 | 15,61 | | |
| Despacho grande 1.1 | 20,5 | 1,68 | | |
| Despacho 1.1 | 14,6 | 1,20 | | |
| Sala reuniones 1.1 | 17,83 | 1,46 | | |
| Zona diáfana 1.2 | 122,66 | 10,05 | PEFY-P100VMHS-E | 11,2 |
| Despacho 1.2 | 14,67 | 1,20 | | |
| Zona diáfana 1.3 | 145,95 | 11,96 | PEFY-P140VMHS-E | 16 |
| Despacho 1.3 | 21,66 | 1,78 | | |
| Sala reuniones 1.3 | 26,95 | 2,21 | | |
| Zona diáfana 1.4 | 150,51 | 12,33 | PEFY-P125VMHS-E | 14 |
| Despacho 1.4 | 21,25 | 1,74 | | |

Tabla 21: Relación de unidades interiores en la planta primera, segunda y tercera.

Nota: Las plantas primera, segunda y tercera son idénticas, por lo que la relación anterior de unidades interiores se corresponde para cada una de estas tres plantas.

- Planta cuarta:

| | Superficie (m2) | Potencia (KW) | Modelo de máquina interior | Potencia unidad interior (kW) |
|---------------------|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| Pasillo ascensor 4 | 32,3 | 2,65 | PEFY-P200VMHS-E | 22,4 |
| Zona diáfana 4.1 | 122,13 | 10,01 | | |
| Despacho grande 4.1 | 21,46 | 1,76 | | |
| Despacho 4.1 | 14,88 | 1,22 | | |
| Sala reuniones 4.1 | 17,36 | 1,42 | | |
| Zona diáfana 4.2 | 122,66 | 10,05 | PEFY-P100VMHS-E | 11,2 |
| Despacho 4.2 | 14,67 | 1,20 | | |
| Zona diáfana 4.3 | 145,95 | 11,96 | PEFY-P140VMHS-E | 16 |
| Despacho 4.3 | 21,66 | 1,78 | | |
| Sala reuniones 4.3 | 26,95 | 2,21 | | |
| Zona diáfana 4.4 | 150,51 | 12,33 | PEFY-P125VMHS-E | 14 |
| Despacho 4.4 | 21,25 | 1,74 | | |

Tabla 22: Relación de unidades interiores en la planta cuarta.

En resumen, la instalación propuesta consta de: 4 unidades modelo PEFY-P100VMHS-E (11,2 kW), 4 unidades modelo PEFY-P125VMHS-E (14 kW), 6 unidades modelo PEFY-P140VMHS-E (16 kW), 4 unidades modelo PEFY-P200VMHS-E (22,4 kW) y 1 unidad modelo PEFY-P250VMHS-E (28 kW). En las siguientes figuras se indican las especificaciones técnicas de las unidades interiores seleccionadas:

| MODELLOW | | | PEFY-P100VMHS-E | PEFY-P125VMHS-E | PEFY-P140VMHS-E | PEFY-P200VMHS-E | PEFY-P250VMHS-E |
|--|-----------------------------|-------------|-----------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Capacidad Nominal | Refrigeración / Calefacción | kW | 11,2 / 12,5 | 14 / 16 | 16 / 18 | 22,4 / 25 | 28 / 31,5 |
| Consumo Nominal | Refrigeración / Calefacción | kW | 0,160 / 0,160 | 0,160 / 0,160 | 0,190 / 0,190 | 0,63 / 0,63 | 0,82 / 0,82 |
| Alimentación | | Fases, V/Hz | | | 1, 220~240V/50-60Hz | | |
| Intensidad | Refrigeración / Calefacción | A | 1,05 / 1,05 | 1,05 / 1,05 | 1,24 / 1,24 | 3,47/3,47 | 4,72/4,72 |
| Diam. Tuberías líquido/gas | | mm | 9,52/15,88 | 9,52/15,88 | 9,52/15,88 | 9,52/19,05 | 9,52/22,2 |
| Nivel Sonoro (B/M/A) | | dB(A) | 27/31/34 | 27/31/34 | 27/32/36 | 36/39/43 | 39/42/46 |
| Ventilador | Caudal de aire (B/M/A) | m³/min | 26,5/32/38 | 26,5/32/38 | 28/34/40 | 50/61/72 | 58/71/84 |
| | Presión estática* | Pa | | | 50/100/150/200/250 | | |
| | Potencia | kW | 0,375 | 0,375 | 0,375 | 0,87 | 0,87 |
| Dimensiones (Alto x Ancho x Fondo) (-E2) | | mm | | 380 x 1.195 x 900 | | 470 x 1.250 x 1.120 | |
| Peso | | kg | 51 | 51 | 53 | 97 | 100 |

Figura 19: Especificaciones técnicas de las unidades exteriores de la serie Alta Presión PEFY.



Figura 20: Máquina de conductos se la serie Alta Presión PEFY (Fuente: Catálogo de Mitsubishi Electric)

En las especificaciones técnicas se indica el consumo eléctrico de las unidades interiores. Como solo se indica el consumo nominal, en el cálculo de la energía se considerará que funcionará en régimen nominal todo el tiempo en el que esté la máquina en funcionamiento. La suma de las potencias consumidas por todas las unidades interiores es 5,76 kW. Las máquinas estarán funcionando durante 14 horas al día. En la siguiente tabla se representa la energía consumida cada mes por las unidades interiores:

| Mes | Días laborales | Consumo eléctrico unidades interiores (kWh) |
|--------------|----------------|---|
| Enero | 21 | 1.693,44 |
| Febrero | 20 | 1.612,80 |
| Marzo | 22 | 1.774,08 |
| Abril | 20 | 1.612,80 |
| Mayo | 22 | 1.774,08 |
| Junio | 21 | 1.693,44 |
| Julio | 24 | 1.935,36 |
| Agosto | 21 | 1.693,44 |
| Septiembre | 22 | 1.774,08 |
| Octubre | 23 | 1.854,72 |
| Noviembre | 20 | 1.612,80 |
| Diciembre | 19 | 1.532,16 |
| Total | 255 | 20.563,20 |

Tabla 23: Consumo eléctrico mensual de las unidades interiores.

En el Anexo II se pueden consultar los esquemas de principio de las asociaciones entre las unidades exteriores y las interiores, con las correspondientes interconexiones de línea frigorífica. Dichos esquemas de principio se han realizado mediante la herramienta de diseño City Multi Design Tool, que ha sido desarrollada por Mitsubishi Electric.

5.3.3.4. Cortina de aire.

Para reducir las pérdidas de energía en el vestíbulo de entrada al edificio, que se pueden ocasionar por la constante apertura de la puerta principal, se recurrirá a la instalación de una cortina de aire

encima de la puerta. La cortina de aire hará una función de barrera entre las condiciones del interior y del exterior del edificio, lo que contribuye a aumentar el ahorro energético en ese sector.

Se seleccionará el modelo MU-EMP 15 de la marca Mundoclíma. Dicho modelo tiene dos modos de funcionamiento: potencia motor baja, con un consumo de 272 W, y potencia motor alta, con un consumo de 455 W. Se considerará que la cortina de aire funciona constantemente en la función de alta potencia.



Figura 21: Cortina de aire modelo MU-EMP 15 de Mundoclíma. Fuente: Catálogo virtual de Salvador Escoda.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | | | | | |
|--------------------------|----------|---------|--------------|--------------|--------------|
| Modelo | | | MU-EMP 09 | MU-EMP 12 | MU-EMP 15 |
| Código | | | EC 06 467 | EC 06 468 | EC 06 469 |
| Longitud unidad | | mm | 900 | 1200 | 1500 |
| Alimentación | | V/Ph/Hz | 220-240/1/50 | 220-240/1/50 | 220-240/1/50 |
| Potencia motor | H (alta) | W | 295 | 360 | 455 |
| | L (baja) | W | 175 | 235 | 272 |
| Velocidad salida aire | H (alta) | m/s | 15 | 15 | 15 |
| | L (baja) | m/s | 10 | 10 | 10 |
| Caudal de aire | | m³/h | 1020 | 1360 | 1700 |
| Nivel sonoro | H (alta) | dB(A) | 53 | 54 | 56 |
| | L (baja) | dB(A) | 50 | 51 | 53 |
| Peso bruto | | Kg | 17.2 | 20.9 | 28.0 |

* El nivel de presión se escucha a 1 m de distancia bajo la salida de aire.

Figura 22: Especificaciones técnicas de las cortinas de aire modelo MU-EMP de Mundoclíma. Fuente: Catálogo virtual de Salvador Escoda.

Con una potencia de 455 W y un periodo de funcionamiento diario de 14 horas, se obtiene un consumo energético diario 6,37 kWh. A lo largo de todo el año, supondrá un consumo anual de 1624,35 kWh.

5.3.4. Consumo energético de la climatización del edificio.

En la siguiente tabla se muestran los consumos eléctricos mensuales del funcionamiento de las unidades exteriores, de las unidades interiores y de la cortina de aire. En total, cada año se

necesitarán 50873,36 kWh de energía para conseguir unas condiciones de trabajo adecuadas en el interior del edificio.

| Mes | Consumo eléctrico climatización (kWh) |
|--------------|---------------------------------------|
| Enero | 4.612,71 |
| Febrero | 3.173,95 |
| Marzo | 2.812,40 |
| Abril | 1.856,14 |
| Mayo | 2.956,96 |
| Junio | 5.196,97 |
| Julio | 7.600,98 |
| Agosto | 7.390,66 |
| Septiembre | 5.749,10 |
| Octubre | 3.227,78 |
| Noviembre | 2.291,02 |
| Diciembre | 4.004,69 |
| Total | 50.873,36 |

Tabla 23: Consumo eléctrico mensual para la climatización.

5.4. Agua Caliente Sanitaria (ACS).

La energía necesaria para la producción del ACS de un edificio se calcula según lo establecido en la “Sección HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” del CTE. En la mencionada sección se fija la contribución mínima de energía solar térmica que se debe aprovechar para la producción de ACS.

Una instalación de captadores de energía solar térmica acapararía una gran superficie en la cubierta, lo cual limitaría el tamaño del sistema fotovoltaico. La instalación de energía solar térmica contribuye únicamente a la producción de ACS, lo que provoca que en los meses más calurosos la superficie de colectores solares térmicos no aprovechara el potencial total de la irradiancia recibida, pues el agua necesitaría un aporte solar bastante reducido para alcanzar las condiciones de uso. En cambio, un sistema fotovoltaico produce energía que se puede emplear para multitud de fines, lo que hace más eficiente la ocupación de superficie.

La contribución solar mínima que establece el HS4, que depende del consumo de agua diario y de la zona climática donde está el edificio, se puede sustituir por instalaciones alternativas de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio. En la propuesta de este trabajo se optará por la inclusión de unas bombas de calor aerotérmicas, de este modo quedará justificada la ausencia de la instalación solar térmica.

5.4.1. Cálculo de la demanda de ACS.

Para el dimensionado de las bombas de calor aerotérmicas se calculará la demanda energética de ACS según el procedimiento que indica el punto 4 del HS4. En primer lugar se calcula el consumo de agua caliente mensual a una temperatura de referencia de 60 °C. En la tabla 4.1. se establece un consumo de agua unitario a 60°C en el caso de oficinas de 2 litros/día por persona. Para el cálculo del consumo mensual habrá que tener en cuenta que el edificio tiene una ocupación de 382 personas.

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C⁽¹⁾

| Criterio de demanda | Litros/día-unidad | unidad |
|-------------------------------|-------------------|-------------|
| Vivienda | 28 | Por persona |
| Hospitales y clínicas | 55 | Por persona |
| Ambulatorio y centro de salud | 41 | Por persona |
| Hotel ***** | 69 | Por persona |
| Hotel **** | 55 | Por persona |
| Hotel *** | 41 | Por persona |
| Hotel/hostal ** | 34 | Por persona |
| Camping | 21 | Por persona |
| Hostal/pensión * | 28 | Por persona |
| Residencia | 41 | Por persona |
| Centro penitenciario | 28 | Por persona |
| Albergue | 24 | Por persona |
| Vestuarios/Duchas colectivas | 21 | Por persona |
| Escuela sin ducha | 4 | Por persona |
| Escuela con ducha | 21 | Por persona |
| Cuarteles | 28 | Por persona |
| Fábricas y talleres | 21 | Por persona |
| Oficinas | 2 | Por persona |
| Gimnasios | 21 | Por persona |
| Restaurantes | 8 | Por persona |
| Cafeterías | 1 | Por persona |

Tabla 24: Demanda de referencia a 60 °C. Fuente: CTE HS 4.

El siguiente paso consiste en el cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria a la temperatura “T” que se decida, que se establecerá en 45 °C. Se empleará la siguiente expresión:

$$D_i(T) = D_i(60^\circ\text{C}) \frac{60 - T_i}{T - T_i}$$

donde

- D(T) Demanda de agua caliente sanitaria anual a la temperatura T elegida;
- D_i(T) Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura T elegida;
- D_i(60 °C) Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i a la temperatura de 60 °C;
- T Temperatura del acumulador final;
- T_i Temperatura media del agua fría en el mes i (según Apéndice B).

Finalmente, para el cálculo de la energía asociada a cada mes para la producción del ACS se emplea la expresión:

$$D = m C_p \Delta T$$

En la siguiente tabla se resumen los cálculos energéticos:

| Mes | Días laborales | Ti en Murcia (°C) | Di a 60°C (litros) | Di a 45°C (litros) | Energía (KWh) |
|------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Enero | 21 | 11 | 16.044 | 23.122,24 | 911,94 |
| Febrero | 20 | 11 | 15.280 | 22.021,18 | 868,52 |
| Marzo | 22 | 12 | 16.808 | 24.448,00 | 935,87 |
| Abril | 20 | 13 | 15.280 | 22.442,50 | 833,07 |
| Mayo | 22 | 15 | 16.808 | 25.212,00 | 877,38 |
| Junio | 21 | 17 | 16.044 | 24.639,00 | 800,27 |
| Julio | 24 | 19 | 18.336 | 28.914,46 | 872,06 |
| Agosto | 21 | 20 | 16.044 | 25.670,40 | 744,44 |
| Septiembre | 22 | 18 | 16.808 | 26.145,78 | 818,89 |
| Octubre | 23 | 16 | 17.572 | 26.660,97 | 896,87 |
| Noviembre | 20 | 13 | 15.280 | 22.442,50 | 833,07 |
| Diciembre | 19 | 11 | 14.516 | 20.920,12 | 825,09 |

Tabla 25: Cálculo energético de la demanda de ACS.

5.4.2. Cálculo del consumo de ACS.

Para la selección del modelo de bomba de calor aerotérmica se realizará una estimación de la potencia considerando un periodo de funcionamiento diario de 12 horas al día, que es el tiempo comprendido en la franja horaria de uso del edificio (de 08:00 hasta las 20:00). Se hallará la energía diaria correspondiente a cada mes, para posteriormente dividirla entre el número de horas de funcionamiento de cada día, obteniendo finalmente la potencia requerida por el sistema de producción de ACS. Se obtendrán una potencia asociada a cada mes, siendo la mayor de éstas la que se considere al tratarse del caso más crítico. En la siguiente tabla se resumen los resultados de este proceso:

| Mes | Demanda (kWh) | Días laborales | Demanda diaria (kWh/día) | Potencia (kW) |
|---------|---------------|----------------|--------------------------|---------------|
| Enero | 911,94 | 21 | 43,43 | 3,60 |
| Febrero | 868,52 | 20 | 43,43 | 3,60 |
| Marzo | 935,87 | 22 | 42,54 | 3,54 |
| Abril | 833,07 | 20 | 41,65 | 3,47 |
| Mayo | 877,38 | 22 | 39,88 | 3,32 |
| Junio | 800,27 | 21 | 38,11 | 3,18 |
| Julio | 872,06 | 24 | 36,34 | 3,03 |
| Agosto | 744,44 | 21 | 35,45 | 2,95 |

| | | | | |
|-------------------|--------|----|-------|------|
| Septiembre | 818,89 | 22 | 37,22 | 3,10 |
| Octubre | 896,87 | 23 | 38,99 | 3,25 |
| Noviembre | 833,07 | 20 | 41,65 | 3,47 |
| Diciembre | 825,09 | 19 | 43,43 | 3,60 |

Tabla 26: Resultados del proceso de dimensionado de la bomba aerotérmica de ACS.

Los meses más críticos son enero, febrero y diciembre, con una potencia resultante de 3,6 kW. Se optará por dos bombas de calor modelo HEATANK V2 300l de la marca Aquatermic, de 1,8 kW de potencia cada una de ellas. Estas bombas se colocarán, cada una de ellas, en los respectivos cuartos auxiliares que hay entre los aseos de la cuarta planta. Para el correcto funcionamiento, habrá que habilitar dos orificios en la pared para la entrada y salida de aire exterior, que transcurrirá por los correspondientes conductos.

| Modelos | | WM 80 | WM 100 | 200 I | 200 I SOLAR | 300 I | 300 I SOLAR |
|----------------------------------|----------|------------|----------|------------|-------------|------------|-------------|
| Códigos | | 3IPH0000 | 3IPH0001 | 3IPH0002 | 3IPH0020 | 3IPH0003 | 3IPH0030 |
| Potencia calorífica | kW | 1 | | 1,8 | | 1,8 | |
| Capacidad (agua) | l | 80 | 100 | 200 | 200 | 200 | 300 |
| Consumo eléctrico | kW | 0,27 | | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 |
| Intensidad absorbida | A | 1,2 | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Alimentación | | 230V-/50Hz | | 230V-/50Hz | | 230V-/50Hz | |
| Nº Compresores | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Compresor | | Rotativo | | Rotativo | | Rotativo | |
| Temp. salida agua | °C | 55 | | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Nivel sonoro | dB(A) | 45 | | 45 | 45 | 45 | 45 |
| SCOP* | | 2,27 | 2,31 | 3,57 | 3,57 | 3,71 | 3,71 |
| Conexiones hidráulicas in/out | pulgadas | 1/2" | | 3/4" | 3/4" | 3/4" | 3/4" |
| Clasificación ErP | | A | A | A | A | A | A |
| Eficiencia energética estacional | % | 95,4 | 98,1 | 152,1 | 152,1 | 154,1 | 154,1 |
| Clasificación energética | | A | A | A | A | A | A |
| Serpentín Solar | m² | | | 1 | | 1,5 | |
| Precio | | 1.105 € | 1.195 € | 1.633 € | 1.850 € | 1.892 € | 2.250 € |

* Datos según la norma EN16147:2017
Temperatura ambiente 15°Cbs/13°Cbh
Temperatura entrada agua 15°C; Salida 45°C (máx 60°C)
Presiones permitidas por el tanque de almacenamiento: 0,1- 1,0 Mpa

Figura 23: Resumen de datos técnicos de las bombas de calor aerotérmicas modelo HEATANK.

Fuente: Catálogo 2018/19 de Aquatermic.



Figura 24: Bombas de calor aerotérmicas modelo HEATANK. Fuente: Catálogo 2018/19 de Aquathermic.

Para la determinación del consumo eléctrico asociado a la producción de ACS se empleará el SCOP, del mismo modo que se empleó con las bombas de calor para la climatización. Los modelos seleccionados tienen un SCOP de 3,71. El consumo resultará al dividir la demanda entre el SCOP. Se considerará que el consumo eléctrico se distribuirá homogéneamente a lo largo de toda la jornada. En la siguiente tabla se representa el consumo energético mensual asociado al consumo de ACS:

| Mes | Demanda ACS (kWh) | Consumo ACS (kWh) |
|------------------|-------------------|-------------------|
| Enero | 911,94 | 245,81 |
| Febrero | 868,52 | 234,10 |
| Marzo | 935,87 | 252,26 |
| Abril | 833,07 | 224,55 |
| Mayo | 877,38 | 236,49 |
| Junio | 800,27 | 215,71 |
| Julio | 872,06 | 235,06 |
| Agosto | 744,44 | 200,66 |
| Septiembre | 818,89 | 220,72 |
| Octubre | 896,87 | 241,75 |
| Noviembre | 833,07 | 224,55 |
| Diciembre | 825,09 | 222,40 |
| TOTAL AÑO | 10217,47 | 2.754,03 |

Tabla 27: Demanda y consumo mensual de ACS.

5.5. Iluminación.

La iluminación de un edificio tiene una contribución energética de consideración y supone un aspecto estratégico, motivo por el que se le dedica una sección del Documento Básico de Ahorro Energético del CTE, concretamente la: “Sección HE 3 Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación”. En la citada sección se establece un valor de potencia de iluminación por unidad de superficie en función del uso del edificio.

| Uso del edificio | Potencia máxima instalada [W/m ²] |
|--|---|
| Administrativo | 12 |
| Aparcamiento | 5 |
| Comercial | 15 |
| Docente | 15 |
| Hospitalario | 15 |
| Restauración | 18 |
| Auditorios, teatros, cines | 15 |
| Residencial Público | 12 |
| Otros | 10 |
| Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux | 25 |

Tabla 28: Potencia máxima de iluminación. Fuente: CTE.

En el caso del edificio propuesto, considerando las superficies útiles se obtiene que la potencia total máxima para iluminación que está permitida instalar en las plantas sobre rasante sea 50034,88 W, y en la zona de aparcamiento será de 10804,2 W.

5.5.1. Consumo por iluminación en plantas sobre rasante.

Para lograr unas altas eficiencias energéticas en iluminación es aconsejable aprovechar al máximo la luz natural, empleo de iluminación LED e imprimir detectores de movimiento en su activación. Para la iluminación de las plantas sobre rasante se propone la instalación de luminarias empotrables modelo INPLANA C09 de la marca Trilux.



Figura 25: Luminaria INPLANA C09. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

Para realizar una estimación de la potencia a instalar para la iluminación, la página web de Trilux tiene un simulador que calcula las luminarias a colocar para proporcionar unos niveles de iluminación adecuados. En el cálculo se supondrá un área para iluminar de 19 metros de longitud por 12.5 metros de anchura, con una altura de 3 metros, posteriormente los resultados obtenidos se extrapolarán a la totalidad del edificio. El plano de trabajo se situará a 0,75 metros del suelo. Para establecer el nivel de iluminación se seguirán las directrices del Real Decreto 489/1997, en el cual se establece que en lugares de trabajo con exigencias visuales altas el nivel mínimo de iluminación debe ser 500 lux. A efectos de cálculo se aumentará ligeramente el valor del nivel mínimo de iluminación, estableciéndolo en 550 lux. [29]

Figura 26: Introducción de datos en software de diseño del sistema de iluminación en la zona de oficinas. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

| | |
|---|--|
| Número de luminarias: | 80x (79,95 valor exacto) |
| Valor específico de la potencia conectada: | 5,1 W/m ² 0,9 W/m ² /100lx |
| Iluminancia: | 550 lx |

Figura 27: Resultados del cálculo del sistema de iluminación en la zona de oficinas. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

Tras la simulación se obtiene un ratio de 5,1 W/m² para estimar la potencia para la iluminación del edificio. Dicho valor se podría generalizar para toda la superficie útil de oficinas del edificio (3796,39 m²), resultando una potencia total de iluminación de 19,36 kW. Para el cálculo energético se considerará que de lunes a viernes en horario de 07:00 a 21:00 la iluminación de la zona de trabajo de oficinas estará activa durante todas las horas comprendidas. En las zonas de uso ocasional, como salas de reuniones, archivos o aseos se considerará que la iluminación estará funcionando durante el 25% del tiempo.

En las zonas de pasillo y escaleras los niveles de iluminación se situarán en 150 lux. Utilizando el mismo tipo de luminaria se calculará la densidad de lámparas mediante la calculadora que ofrece el catálogo virtual de Trilux. En esta caso se tomará una superficie de referencia más estrecha para que guarde mayor similitud con la configuración de las zonas de pasillo y escaleras. El plano donde se deberán garantizar los 150 lux se situará en el suelo.

Figura 28: Introducción de datos en software de diseño del sistema de iluminación en pasillos y escaleras. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

| | |
|---|--|
| Número de luminarias: | 3x (2,55 valor exacto) |
| Valor específico de la potencia conectada: | 4,0 W/m ² 2,3 W/m ² /100lx |
| Iluminancia: | 176 lx |

Figura 29: Resultados del cálculo del sistema de iluminación en la zona de oficinas. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

Para las condiciones de iluminación en pasillos y escaleras se obtiene un ratio de 4 W/m², lo que supone una potencia total de 1,49 kW en los 373,18 m² de superficie útil. Se supondrá que la iluminación de estas secciones estará en funcionamiento de lunes a viernes en horario de 07:00 a 21:00.

En la siguiente tabla queda indicado el consumo eléctrico para la iluminación del edificio durante un día:

| | Zona trabajo oficinas P = 16,3 kW Su = 3195,13 m2 | | Zona uso ocasional P = 3,07 kW Su = 601,26 m2 | | Pasillos y escaleras P = 1,49 kW Su = 373,18 m2 | |
|---------------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|
| | % Uso | Consumo (kWh) | % Uso | Consumo (kWh) | % Uso | Consumo (kWh) |
| 0:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 1:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 2:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 3:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 4:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 5:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 6:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 7:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 8:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 9:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 10:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 11:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 12:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 13:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 14:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 15:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 16:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 17:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 18:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 19:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 20:00 | 100,00% | 16,30 | 25,00% | 0,77 | 100,00% | 1,49 |
| 21:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 22:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 23:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| Total diario | | 228,13 | | 10,73 | | 20,90 |

Tabla 29: Consumo diario de iluminación en plantas sobre rasante.

5.5.2. Consumo por iluminación en plantas bajo rasante.

Respecto a la iluminación del aparacamiento de precederá de forma similar. El Real Decreto 489/1997 establece unos niveles de iluminación mínimos de 25 lux en vías de circulación de uso ocasional. En los cálculos se considerará un nivel de 50 lux para ser más conservador, pues se trata de un aspecto de seguridad. En este caso se empleará la luminaria modelo 3331 G2 de la marca Trilux.



Figura 30: Luminaria 3331 G2. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

En el cálculo del sistema de iluminación se considerará una zona de 46 metros de longitud por 22 metros de anchura, y 4 metros de altura. El plano de referencia para el estudio, que es la región donde deben garantizarse los 50 lux de iluminación, se situará en el suelo, pues es imprescindible que sea perfectamente visible por parte de los conductores.

CALCULADORA DE LUZ

Luminaria
Tipo de montaje: De superficie

Flujo luminoso de la luminaria
4900.0

Plano útil
0m/50lx

Local
46x22x4 m

CALCULAR

Figura 31: Introducción de datos en software de diseño del sistema de iluminación en la zona de garaje. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

| | |
|---|--|
| Número de luminarias: | 13x (12,48 valor exacto) |
| Valor específico de la potencia conectada: | 0,5 W/m ² 0,9 W/m ² /100lx |
| Iluminancia: | 52 lx |

Figura 32: Resultados del cálculo del sistema de iluminación en la zona de garajes. Fuente: Catálogo virtual de Trilux.

En garajes se obtiene un ratio de $0,5 \text{ W/m}^2$ de potencia en cuanto a iluminación. Extendiendo este resultado a la totalidad de la superficie útil de garaje, que es 2098 m^2 , se obtiene una potencia para la iluminación de $1,05 \text{ kW}$. Para el cálculo energético se considerará que estará en funcionamiento durante toda la jornada. En la iluminación de las plantas de sótano también habrá que incluir la zona de zona del vestíbulo de ascensores y de escaleras, donde la iluminación se efectuará con las mismas luminarias que se emplearon en las plantas sobre rasante.

En la siguiente tabla se indican los consumos relativos a cada una de las horas durante un día:

| | Aparcamiento P = $1,05 \text{ kW}$ Su = 2098 m^2 | | Pasillos y escaleras P = $1,49 \text{ kW}$ Su = $62,84 \text{ m}^2$ | |
|---------------------|--|---------------|---|---------------|
| | % Uso | Consumo (kWh) | % Uso | Consumo (kWh) |
| 0:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 1:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 2:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 3:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 4:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 5:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 6:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 7:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 8:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 9:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 10:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 11:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 12:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 13:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 14:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 15:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 16:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 17:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 18:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 19:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 20:00 | 100,00% | 1,05 | 100,00% | 0,25 |
| 21:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 22:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| 23:00 | 0,00% | 0,00 | 0,00% | 0,00 |
| Total diario | | 14,69 | | 3,52 |

Tabla 30: Consumo diario de iluminación en plantas bajo rasante.

En resumen, en las plantas sobre rasante, el consumo energético diario debido a la iluminación es $259,76 \text{ kWh}$, y en las plantas de sótano, $18,21 \text{ kWh}$. Sumando ambas partes, se tiene un consumo diario en todo el edificio de $277,97 \text{ kWh}$, que supone anualmente un valor de $70881,83 \text{ kWh}$.

5.6. Equipos de oficina.

5.6.1. Consumo de los equipos de oficina.

En un edificio de oficinas existe una serie de equipos necesarios para desarrollar las tareas, los cuales consumen electricidad, como es el caso de los ordenadores, de las pantallas o de las máquinas multifunción de impresión y escaneo.

Según la distribución de oficinas propuesta se contabiliza unos 336 puestos de trabajo con ordenador. Para estimar el consumo asociado se tomará como referencia los datos de una auditoría energética realizada en el edificio de la sede de Tragsa en Madrid. En dicho informe se estima que cada conjunto ordenador con monitor consume una potencia de 100 W en funcionamiento y de 17 W en modo Stand-by. Se considerará un porcentaje de funcionamiento del 100% durante el periodo comprendido entre las 8:00 de la mañana y las 19:00 de la tarde. De 7:00 a 8:00 y de 19:00 a 21:00, se estimará que estarán en funcionamiento la mitad de los equipos existentes. Durante el resto del tiempo en el que los equipos no estén en funcionamiento, se considerará que están modo Stand-by. [30]

En el edificio se han previsto la inclusión de 19 máquinas multifunción para la impresión y el escaneo de documentos. Tomando como referencia la auditoría energética anteriormente presentada, durante el funcionamiento de una máquina multifunción se estima un consumo de 460 W, y durante la fase de Stand-by, un consumo de 12 W. Durante toda la jornada se considerará que el sistema estará en funcionamiento el 10% del tiempo, excepto durante los periodos comprendidos de 7:00 a 8:00, de 14:00 a 16:00 y de 19:00 y a 21:00, donde se supondrá un funcionamiento durante el 5% del tiempo. En las horas restantes, las máquinas multifunción estarán en modo Stand-by.

En la determinación de la energía total asociada a los equipos de oficina, se contemplará el consumo de otros elementos típicos en este tipo de edificios (tritadoras de papel, fuentes de agua, máquina expendedoras de café, tornos y puerta de entrada, cámaras de vigilancia,...) se mayorará el resultado final un 15%. Realizar una previsión energética muy precisa de este tipo de consumos en una fase de proyecto y diseño resulta un poco complicado por la falta de información debido a que no se conoce con exactitud la totalidad de los elementos que va a tener finalmente el edificio, además de la incertidumbre que existe en el uso que va a dar el personal. No obstante, a pesar de la variabilidad existente, la previsión estimada no distará demasiado de la realidad.

En la tabla que se presenta a continuación se indica el consumo de los equipos de los

| | % del tiempo modo ON | % del tiempo modo Stand-by | Equipos (kWh) | % del tiempo funcionando | Multifunción (kWh) |
|---------------------|----------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|--------------------|
| 0:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 1:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 2:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 3:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 4:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 5:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 6:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 7:00 | 50,00% | 100,00% | 19,66 | 5,00% | 0,65 |
| 8:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 5,00% | 0,65 |
| 9:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 10:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 11:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 12:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 13:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 14:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 5,00% | 0,65 |
| 15:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 5,00% | 0,65 |
| 16:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 17:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 18:00 | 100,00% | 100,00% | 33,60 | 10,00% | 1,08 |
| 19:00 | 50,00% | 100,00% | 19,66 | 5,00% | 0,65 |
| 20:00 | 50,00% | 100,00% | 19,66 | 5,00% | 0,65 |
| 21:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 5,00% | 0,65 |
| 22:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| 23:00 | 0,00% | 100,00% | 5,71 | 0,00% | 0,23 |
| Total diario | | | 485,69 | | 15,26 |

Tabla 31: Consumo diario de los equipos de trabajo y de las máquinas multifunción.

En total se obtiene un consumo total diario de 500,95 kWh, que se mayorará en un 15% para considerar los consumos de otros elementos (trituradoras de papel, puerta automática de entrada al edificio,...), resultando un consumo final diario de 576,09 kWh. El consumo anual correspondiente a los distintos equipos de oficina es 146903,24 kWh.

En esta sección se ha considerado que durante cada día, durante el tiempo en cual los equipos no están siendo utilizados, se encontrarán en modo Stand-by, debido a que es la práctica habitual. Esta práctica supone un gasto de energía que se podría ahorrar si los usuarios apagarán por completo los equipos al terminar la jornada laboral. Con los datos considerados anteriormente, si los trabajadores apagarán los equipos en vez de dejarlos en modo Stand-by, se ahorraría cada día 65,69 kWh, lo que supone un ahorro del 13,5% en el consumo de los equipos respecto a la situación inicialmente considerada. En la estimación del consumo del edificio se ha decidido

contemplar la situación más desfavorable, aunque sería importante impartir campañas de concienciación sobre este aspecto.

5.7. Extracción en aseos.

5.7.1. Consumo de la extracción en aseos.

Cada uno de los 20 aseos existentes en el edificio propuesto (10 masculinos y 10 femeninos) contará con un sistema de extracción mecánica individualizado. Se recurrirá a extractores en línea para conducto circular de la serie MU-TT, de la marca MundoFan.

| Código | Modelo | Caudal aire (m ³ /h) | | Potencia (W) | | Corriente abs. (A) | | RPM (min-1) | | Nivel sonoro (dBA) | |
|-----------|----------------------|---------------------------------|------|--------------|-----|--------------------|------|-------------|------|--------------------|-----|
| | | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| VD 01 901 | MU-TT 100 | 145 | 187 | 15 | 25 | 0,12 | 0,20 | 2450 | 2500 | 28 | 35 |
| VD 01 902 | MU-TT 125 | 220 | 280 | 25 | 38 | 0,19 | 0,26 | 2400 | 2500 | 29 | 36 |
| VD 01 903 | MU-TT 150 | 467 | 552 | 40 | 63 | 0,17 | 0,27 | 2350 | 2450 | 33 | 44 |
| VD 01 904 | MU-TT 160 | 467 | 552 | 40 | 63 | 0,17 | 0,27 | 2350 | 2450 | 33 | 44 |
| VD 01 905 | MU-TT 200 | 830 | 1040 | 90 | 125 | 0,40 | 0,55 | 2055 | 2510 | 45 | 52 |
| VD 01 906 | MU-TT 250 PRO | 1100 | 1400 | 125 | 177 | 0,54 | 0,79 | 1955 | 2240 | 47 | 55 |
| VD 01 907 | MU-TT 315 PRO | 1760 | 2350 | 225 | 330 | 0,98 | 1,43 | 1980 | 2660 | 49 | 58 |

Tabla 32: Especificaciones técnicas extractores en línea serie MU-TT. Fuente: Catálogo virtual de Salvador Escoda.



Figura 33: Extractor en línea serie MU-TT de MundoFan. Fuente: Catálogo virtual de Salvador Escoda.

Para adoptar una postura más conservadora, se supone que los extractores funcionan a la máxima potencia, que es 25 W. Los 20 extractores, funcionando unas 14 horas al día, realizan un consumo eléctrico de 7 kWh. Si se computa el año entero, el consumo por la extracción en aseos asciende a 1785 kWh.

5.8. Extracción en garajes.

5.8.1. Consumo de la extracción en garajes.

La extracción forzada en garajes está reglada por la “Sección HS3 Calidad del aire interior” y por la “Sección SI3 Evacuación de ocupantes” del CTE. El caudal mínimo de ventilación en garajes se establece en 150 l/s por plaza en el apartado 8 “Control del humo de incendio” del SI3.

Según el apartado 2 “Caracterización y cuantificación de la exigencia” del HS3, en las plantas de garaje que dispongan de más de 15 plazas habrá que instalar dos redes de extracción independientes, con el fin de reducir a límites aceptables el riesgo de que deje de funcionar la ventilación por fallo de los aspiradores mecánicos.

En las dos plantas de garaje subterráneo del edificio se superan las 15 plazas de aparcamiento, por lo que en ambos casos habrá que recurrir a dos redes de extracción, cada una de ellas con su correspondiente caja de ventilación. Para el cálculo del caudal de ventilación corresponderán 150 l/s (540 m³/h) por plaza. En la siguiente tabla se indica el caudal por cada red de extracción:

| Nivel | Red de extracción | Plazas de aparcamiento | Caudal de extracción (m ³ /h) |
|-----------|-----------------------|------------------------|--|
| Sótano -1 | Red de extracción 1-A | 8 | 4320 |
| | Red de extracción 1-B | 8 | 4320 |
| Sótano -2 | Red de extracción 2-A | 11 | 5940 |
| | Red de extracción 2-B | 11 | 5940 |

Tabla 33: Caudales de las redes de extracción en los aparcamientos.

Para cada una de las redes de extracción se selecciona una caja de ventilación apta para garajes, por lo que tendrá que estar preparada para funcionar durante 2 horas a una temperatura de 400 °C. Se escogen unas cajas de extracción del catálogo de Salvador Escoda. Los modelos seleccionados deben ser capaces de extraer el caudal correspondiente y vencer una caída de presión máxima de 250 Pa. Se empleará siguiente gráfica para la elección de las cajas de ventilación:

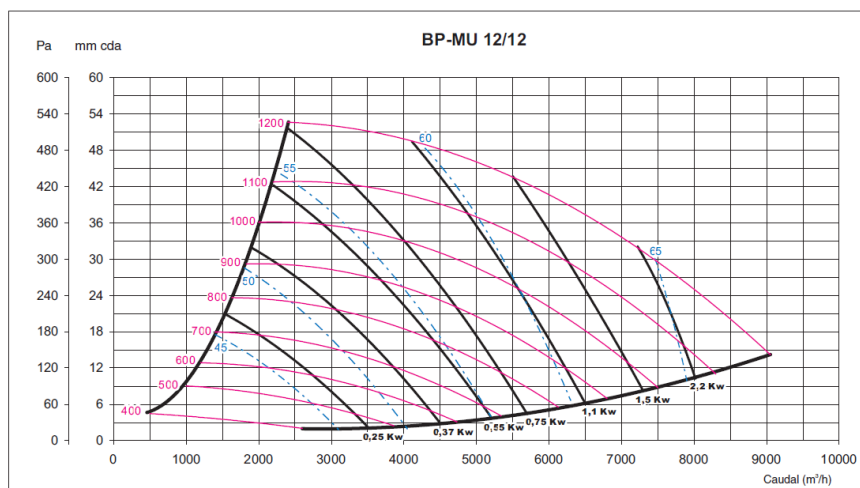


Figura 34: Gráfica de selección de cajas de ventilación de clase BP-MU 12/12. Fuente: Catálogo de Salvador-Escoda.

La extracción de garajes de cada una de las dos redes del sótano -1 se efectuará con una caja de ventilación BP-MU 12/12 1 CV (0,75 kW), mientras que en el sótano -2 se recurrirá al modelo BP-MU 12/12 2 CV (1,5 kW) para cada red. Las potencias indicadas en el modelo se corresponden con el motor eléctrico que las hace funcionar.



Figura 35: Imagen de una caja de ventilación clase BP-MU 12/12. Fuente: Catálogo de Salvador-Escoda.

Se considerará que los extractores funcionarán al 100% de 8:00 a 19:00. De 7:00 a 8:00 y de 19:00 a 21:00, la extracción se reducirá al 75%, y durante el resto de horas del día, al 25%. En la siguiente tabla se puede observar el consumo diario de la extracción en garajes:

| | % Capacidad | Sótano -1 (kWh) | Sótano -2 (kWh) |
|------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 1:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 2:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 3:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 4:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 5:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |

| | | | |
|---------------------|---------|---------------|--------------|
| 6:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 7:00 | 75,00% | 1,125 | 2,25 |
| 8:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 9:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 10:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 11:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 12:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 13:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 14:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 15:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 16:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 17:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 18:00 | 100,00% | 1,50 | 3,0 |
| 19:00 | 75,00% | 1,125 | 2,25 |
| 20:00 | 75,00% | 1,125 | 2,25 |
| 21:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 22:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| 23:00 | 25,00% | 0,375 | 0,75 |
| Total diario | | 23,625 | 47,25 |

Tabla 34: Consumo diario para la extracción en sótanos.

Sumando la energía consumida en cada sótano, se obtiene un valor diario de 70,875 kWh. A lo largo de todo el año, supone un consumo de 17116,31 kWh.

5.9. Ascensores.

5.9.1. Consumo de los ascensores.

El edificio propuesto dispondrá de 3 ascensores para facilitar el movimiento vertical. Para la estimación del consumo energético de los ascensores se considerará la instalación del modelo Schindler 5500, que se caracteriza por una alta eficiencia.

La normativa VDI4707 “Elevators, energy efficiency” establece una categorización de los ascensores en función de la frecuencia de uso, tal como se indica en la siguiente tabla:

| Categoría | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------|
| Uso | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |
| Tiempo promedio de movimiento (h/día) | 0,2 (≤0,3) | 0,5 (0,3-1) | 1,5 (>1-2) | 3 (>2-4,5) | 6 (>4,5) |
| Tiempo promedio de reposo (h/día) | 23,8 | 23,5 | 22,5 | 21 | 18 |

Tabla 35: Categorías por frecuencia de uso de los ascensores. Fuente: Manual de eficiencia energética en aparatos elevadores. Junta de Castilla y León.

Se considerará que los ascensores tendrán una categoría de uso 3 (medio). En un contexto de ahorro energético es fundamental incentivar un uso eficiente del equipamiento del edificio, lo que conlleva a fomentar el uso de las escaleras, no obstante, a efectos de cálculo se contemplará un caso intermedio. Un ascensor modelo Schindler 5500 operando bajo las condiciones de uso mencionadas tiene un consumo energético como el que se indica en la siguiente figura:

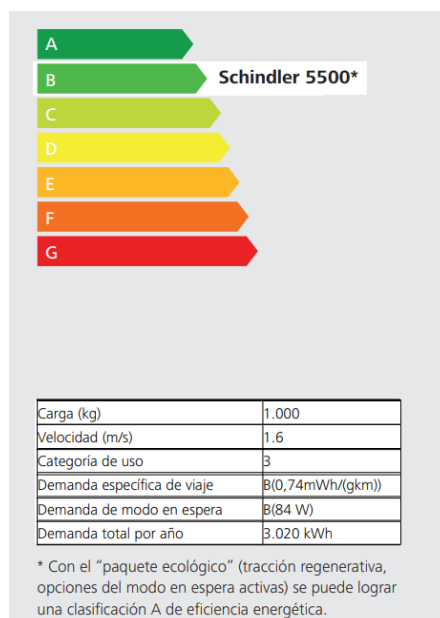


Figura 36: Resumen datos energéticos del ascensor Schindler 5500.

Se estimará que cada uno de los ascensores consume un total de 3020 kWh de energía al año. Dicho gasto energético se supondrá que se reparte homogéneamente a lo largo de toda la jornada.

5.9. Consumo energético total del edificio.

Una vez conocidos todos los consumos energéticos de los distintos ámbitos del edificio se procede a resumirlos en la tabla 36. Se observa un consumo total anual 332020,03 kWh. Los días festivos oficiales se han establecido según lo marcado por el calendario laboral correspondiente al año 2019. Durante los apartados anteriores se han expuesto las condiciones de diseño de los diversos elementos que dotan de funcionalidad al edificio propuesto y los criterios considerados para la estimación del consumo energético. En circunstancias normales, en caso de materializarse la construcción del edificio, el consumo real no debería distar demasiado de la estimación realizada.

| Mes | Días laborales | Climatización (kWh) | Ventilación (kWh) | ACS (kWh) | Iluminación (kWh) | Equipos (kWh) | Extracción aseos (kWh) | Extracción garajes (kWh) | Ascensores (kWh) | TOTAL (kWh) |
|------------------|----------------|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| Enero | 21 | 4.612,71 | 3.250,20 | 245,81 | 5.837,33 | 12.097,91 | 147,00 | 1.488,38 | 746,12 | 28.425,45 |
| Febrero | 20 | 3.173,95 | 3.095,43 | 234,10 | 5.559,36 | 11.521,82 | 140,00 | 1.417,50 | 710,59 | 25.852,75 |
| Marzo | 22 | 2.812,40 | 3.404,97 | 252,26 | 6.115,29 | 12.674,00 | 154,00 | 1.559,25 | 781,65 | 27.753,82 |
| Abril | 20 | 1.856,14 | 3.095,43 | 224,55 | 5.559,36 | 11.521,82 | 140,00 | 1.417,50 | 710,59 | 24.525,38 |
| Mayo | 22 | 2.956,96 | 3.404,97 | 236,49 | 6.115,29 | 12.674,00 | 154,00 | 1.559,25 | 781,65 | 27.882,61 |
| Junio | 21 | 5.196,97 | 3.250,20 | 215,71 | 5.837,33 | 12.097,91 | 147,00 | 1.488,38 | 746,12 | 28.979,61 |
| Julio | 24 | 7.600,98 | 3.714,51 | 235,06 | 6.671,23 | 13.826,19 | 168,00 | 1.701,00 | 852,71 | 34.769,67 |
| Agosto | 21 | 7.390,66 | 3.250,20 | 200,66 | 5.837,33 | 12.097,91 | 147,00 | 1.488,38 | 746,12 | 31.158,25 |
| Septiembre | 22 | 5.749,10 | 3.404,97 | 220,72 | 6.115,29 | 12.674,00 | 154,00 | 1.559,25 | 781,65 | 30.658,99 |
| Octubre | 23 | 3.227,78 | 3.559,74 | 241,75 | 6.393,26 | 13.250,10 | 161,00 | 1.630,13 | 817,18 | 29.280,92 |
| Noviembre | 20 | 2.291,02 | 3.095,43 | 224,55 | 5.559,36 | 11.521,82 | 140,00 | 1.417,50 | 710,59 | 24.960,26 |
| Diciembre | 19 | 4.004,69 | 2.940,65 | 222,40 | 5.281,39 | 10.945,73 | 133,00 | 1.346,63 | 675,06 | 25.549,55 |
| TOTAL AÑO | 255,00 | 50.873,36 | 39.466,68 | 2.754,03 | 70.881,83 | 146.903,24 | 1.785,00 | 17.116,31 | 9.060,00 | 339.797,26 |

Tabla 36: Resumen de los consumos eléctricos mensuales de todos los elementos del edificio.

En el siguiente gráfico de barras se representa la parte del consumo anual que tiene cada una de las secciones del edificio. La mayoría de las secciones ofrecen un consumo similar durante todos los meses del año, siendo el número laborales del mes el único factor que aporta variabilidad. En los consumos de climatización y de los equipos se aprecian unas variaciones estacionales. En el caso de la climatización, se aprecia un mayor consumo en los meses donde las condiciones exteriores son más extremas, como son julio a agosto para la refrigeración, y diciembre y enero para la calefacción. El consumo asociado a los equipos es similar durante todo el año, excepto durante los meses de julio y agosto, los cuales se corresponden con el periodo vacacional y el número de trabajadores es más reducido.

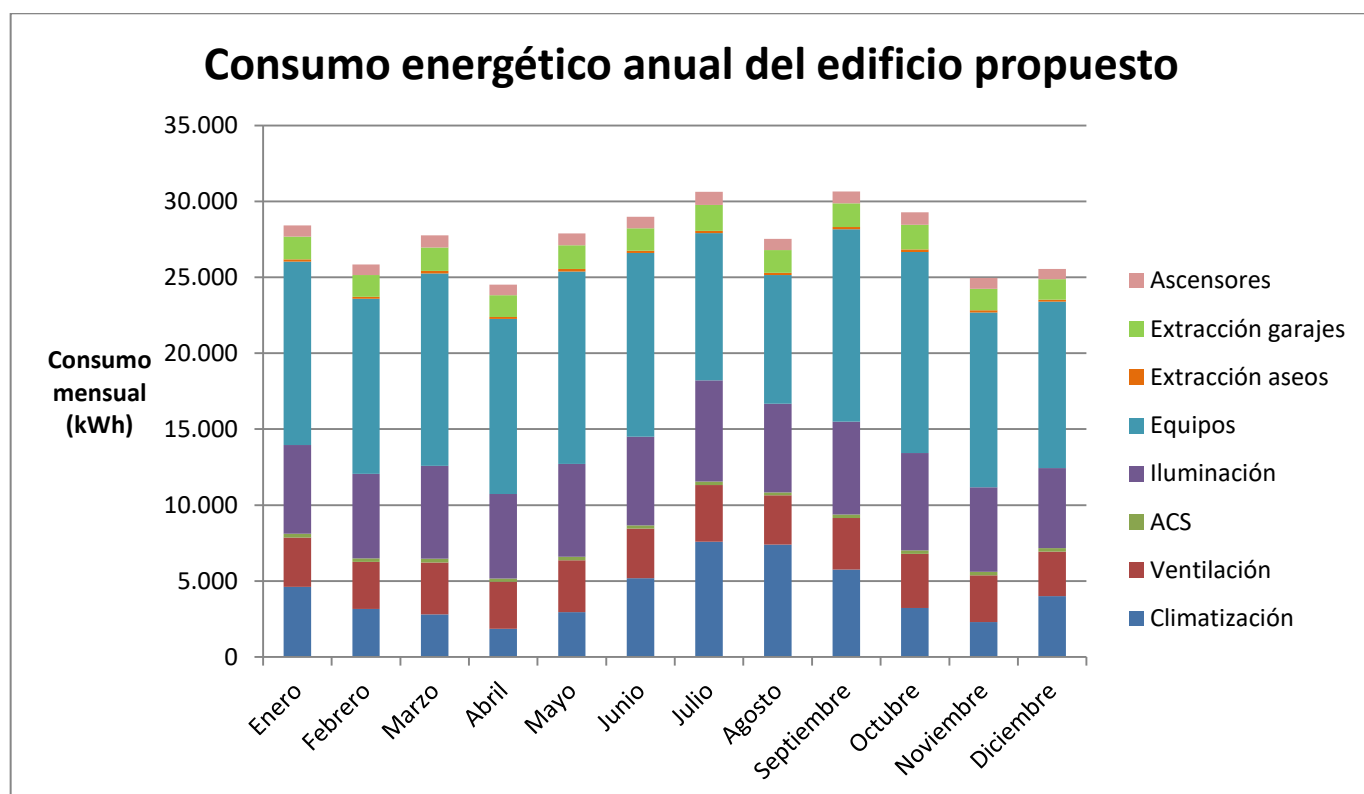


Figura 37: Consumo energético mensual del edificio propuesto.

En términos porcentuales, en la siguiente gráfica sectorial se representa la contribución en el consumo de cada una de las secciones del edificio. Destaca principalmente el consumo de los equipos, que comprende algo más de las dos quintas partes del total anual. La iluminación supone la segunda sección que más consume a lo largo de todo el año. El tercer lugar lo ocupa la climatización, seguido muy de cerca de la ventilación. Con una repercusión menos importante en comparación con los anteriores están la extracción de garajes y de aseos, los ascensores y el ACS.

Distribución del consumo energético anual del edificio propuesto.

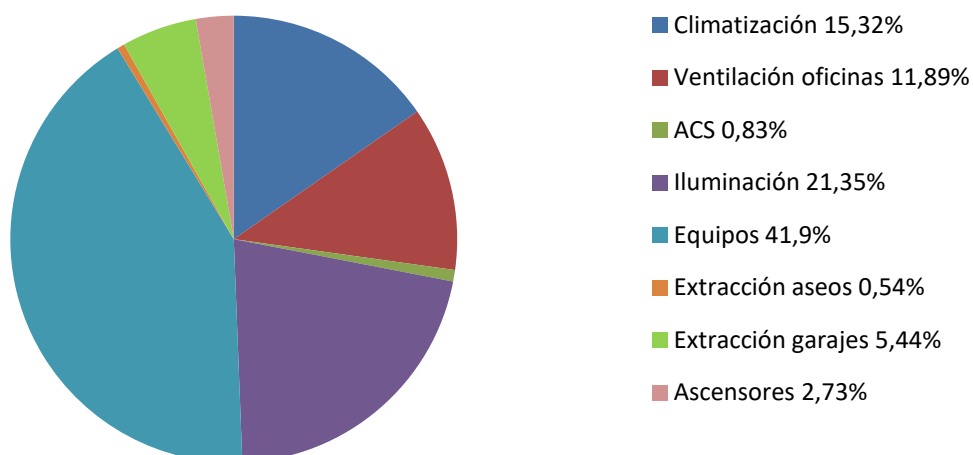


Figura 38: Distribución del consumo energético anual del edificio propuesto.

Aquellos aspectos que tienen una mayor importancia podrían ser objeto de revisión con la finalidad de reducir el consumo energético del edificio. Los equipos componen una gran parte del consumo, por lo que un ejemplo de propuesta de mejora podría ser dotar a los puestos de trabajos de unos ordenadores que hagan un consumo eficiente de la energía, consiguiendo un considerable ahorro eléctrico. La iluminación sería otra piedra angular en la reducción del consumo. La implementación de un sistema de iluminación autorregulable en función de la luz natural disponible podría ser una interesante opción al respecto. El aspecto de la climatización, que representa una parte importante del consumo, se ha tratado con detalle en este trabajo. Un correcto dimensionado de los aparatos de climatización es fundamental para hacer un uso eficiente de la energía. Difundir entre los usuarios de edificio una cultura basada en el ahorro energético, donde se promuevan acciones tales como apagar los equipos al finalizar la jornada o programar los termostatos de la climatización dentro del rango de temperaturas establecidos por el IDEA.

6. Instalación fotovoltaica del edificio.

Como se ha comentado con anterioridad, un edificio de consumo energético de consumo casi nulo se caracteriza por realizar un uso eficiente de la energía y por obtener dicha energía a partir de fuentes renovables del entorno.

Para la generación de electricidad que abastezca las necesidades del edificio se recurrirá a una instalación fotovoltaica. La instalación fotovoltaica se implantará en las superficies disponibles del

edificio que sean aptas para el aprovechamiento del recurso solar. Se distinguirán dos tipos de superficies en el edificio para ubicar los módulos fotovoltaicos: la superficie horizontal de la cubierta y la superficie vertical de la fachada.

La instalación fotovoltaica se compondrá de cinco formas de disponer los módulos. Por un lado se tiene la instalación en cubierta, donde se compararán dos alternativas, una de ellas se trata de disponer los módulos con la orientación e inclinación óptimas, y la otra consiste en colocar los módulos horizontalmente en el suelo. Por otro lado se estudiará la colocación de paneles fotovoltaicos inclinados en fachada según el ángulo óptimo, los cuales se ubicarán por encima de las ventanas, de modo que sirvan para proteger la incidencia de los rayos solares en la superficie acristalada de la fachada. También se dispondrán paneles de manera vertical, en la parte inferior de las ventanas, quedando integrados en la doble pared de la fachada ventilada. En este último caso los paneles contribuirán al aislamiento del edificio. Los módulos fotovoltaicos en fachada, tanto los inclinados como los verticales, se situarán en las caras del edificio orientadas al sureste y al suroeste. A continuación se resume de forma esquemática las distintas disposiciones de los módulos:

- 1. En cubierta:
 - Alternativa 1: Orientación e inclinación óptimas.
 - Alternativa 2: Horizontal.
- 2. En fachada sureste:
 - 2.1. Inclinación óptima.
 - 2.2. Vertical.
- 3. En fachada suroeste:
 - 3.1. Inclinación óptima.
 - 3.2. Vertical.

Cada una de estas disposiciones se conectará a uno o varios inversores, de modo que trabajen sin combinar módulos fotovoltaicos en diferente orientación e inclinación. Se realizará un análisis de la energía producida por cada disposición, además de una estimación de la emisión de contaminantes evitados en comparación con una situación donde la totalidad de la electricidad del edificio procediera del mix energético actual. También se realizará un análisis económico individualizado de cada configuración para obtener la rentabilidad de cada una de ellas.

6.1. Fundamento teórico de una instalación fotovoltaica.

6.1.1. Cálculo de la energía generada por el sistema.

El cálculo de la energía generada por los distintos sistemas fotovoltaicos del edificio se calculará mediante el programa PVGIS, no obstante, se describirá el fundamento teórico por el cual se rige el funcionamiento de este tipo de instalaciones. La energía que produce un sistema fotovoltaico depende fundamentalmente de tres aspectos: la potencia instalada, la cantidad de irradiación captada por los módulos fotovoltaicos y las pérdidas del sistema. Si se expresa de forma analítica la energía producida por un sistema fotovoltaico se tiene la siguiente expresión:

$$E_{generada} = P_{instalada} * \frac{G_{captada}}{I_{STD}} * PR \quad (1)$$

Donde:

$E_{generada}$: Energía producida por el sistema, en kWh.

$P_{instalada}$: Potencia pico total del sistema fotovoltaico instalado, en kW.

$G_{captada}$: Irradiancia captada por los módulos del sistema fotovoltaico, en kWh/m².

I_{STD} : Irradiación solar en condiciones estándar, cuyo valor es 1 kW/m².

PR: Performance ratio o rendimiento global. Es un valor adimensional comprendido entre 0 y 1. También se puede expresar en forma de porcentaje. Cuanto mayor sea este valor, menor serán las pérdidas del sistema.

Los valores de potencia de pico de un módulo fotovoltaico se corresponden con unas condiciones estándar de irradiancia y temperatura, entre otros factores. Debido a las diferentes condiciones de irradiancia a las que se va a exponer los módulos de los diferentes sistemas fotovoltaicos que se van a estudiar en el edificio propuesto, para el cálculo de la energía generada se multiplica la potencia por el cociente entre la irradiancia captada por los módulos fotovoltaicos y las condiciones de irradiación estándar. De dicho cociente se obtiene el número de horas equivalentes a las que estaría produciendo energía el sistema fotovoltaico si estuviera en las condiciones estándar. El performance ratio expresa el rendimiento total del sistema.

6.1.2. Performance ratio del sistema.

La generación de electricidad real no se corresponde con el máximo del caso ideal debido a la existencia de un conjunto de pérdidas. Las pérdidas que se pueden dar en una instalación fotovoltaica son las siguientes:

- **Pérdidas por temperatura (P_t):** La potencia de un módulo fotovoltaico disminuye de forma lineal conforme aumenta la temperatura. Las pérdidas debidas a la temperatura suponen uno de los factores que más contribuye a reducir el performance ratio de la instalación. Su cálculo teórico se realiza a partir de la expresión:

$$R_t = K_L(T_C - 25^{\circ}C)$$

Donde K_L es un coeficiente lineal característico del módulo que indica la reducción en porcentaje de la potencia nominal por cada grado centígrado que aumente la temperatura ($\%/^{\circ}C$). T_C es la temperatura de la célula y se calcula con la siguiente expresión:

$$T_C = T_a + \frac{(NOCT - 20^{\circ}C)}{800} * G$$

Donde:

T_a : Temperatura ambiente, en $^{\circ}C$.

TNOC: Temperatura nominal de operación de la célula, en $^{\circ}C$. El valor suele estar alrededor de los 46-47 $^{\circ}C$.

G: Irradiación a la que estará sometida la célula, en W/m^2 .

En la realización del presente trabajo las pérdidas debidas a la temperatura son calculadas por el programa PVGIS, a partir de la base de datos climatológicos que contiene.

- **Pérdidas por cableado (P_{cab}):** Son las debidas por la disipación de energía a lo largo de las interconexiones eléctricas del sistema fotovoltaico. Se suele asumir que toda la potencia se disipa mediante efecto Joule. En los cálculos se considerarán unas pérdidas por cableado del 3%.

- **Pérdidas por ensuciamiento (P_{ens}):** La existencia de suciedad de diverso tipo (polvo, hojas, excrementos de pájaros,...) entorpecen la incidencia de la radiación solar, lo que se traduce en una pérdida de la capacidad de producción. Las pérdidas debidas al ensuciamiento dependen de los niveles de polvo y de las lluvias, entre otros factores. También influirá la disposición de los módulos, donde encontramos el caso más desfavorable en los módulos horizontales de cubierta, donde cualquier partícula que se pose únicamente podrá ser desplazada de forma natural por el viento. Un buen mantenimiento contribuirá a reducir este tipo de pérdidas. Se considerarán unas pérdidas por ensuciamiento del 4% en los módulos inclinados, del 8% en los módulos horizontales y del 2% en los módulos verticales.

- **Pérdidas por dispersión de parámetros (P_{dis}):** Es inevitable la existencia de pequeñas diferencias entre las especificaciones técnicas teóricas de un producto y las especificaciones

técnicas reales del producto real fabricado. Esta dispersión de parámetros en los módulos fotovoltaicos conlleva unas pequeñas pérdidas, que se considerarán del 3%.

- **Pérdidas en el inversor (P_{inv}):** La adaptación de la energía fotovoltaica generada que se realiza en el inversor conlleva unas pérdidas. Estas pérdidas se cuantifican en las especificaciones técnicas del inversor seleccionado para cada configuración.

- **Pérdidas por sombras (P_{sombas}):** Se corresponde con las sombras generadas por otros módulos o elementos, que impiden que llegue la radiación solar al módulo. En la disposición de los paneles propuesta en el edificio se ha evitado la generación de sombras entre los mismos. La existencia de otros edificios puede generar sombras en los módulos fotovoltaicos en fachada. Para la estimación de las pérdidas por sombras se definirá la elevación ($^\circ$) y el acimut ($^\circ$) de los puntos que definen el elemento que produce la sombra, tomando como referencia el centro geométrico de la instalación. Las coordenadas de elevación y acimut se representarán en un diagrama de sombras (figura 39), el cual se encuentra dividido en unas porciones. El diagrama de sombras será característico del lugar del planeta donde se realice el estudio. Se deberán considerar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil delimitado por los puntos que definen la sombra. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1. Cada una de estas porciones se corresponde con un coeficiente. Las pérdidas de sombra serán la suma de los coeficientes ocultos parcialmente o totalmente por el perfil de sombras. Existen unas tablas donde se indican el valor de cada una de las porciones, que dependen de la inclinación y de la orientación de los módulos.

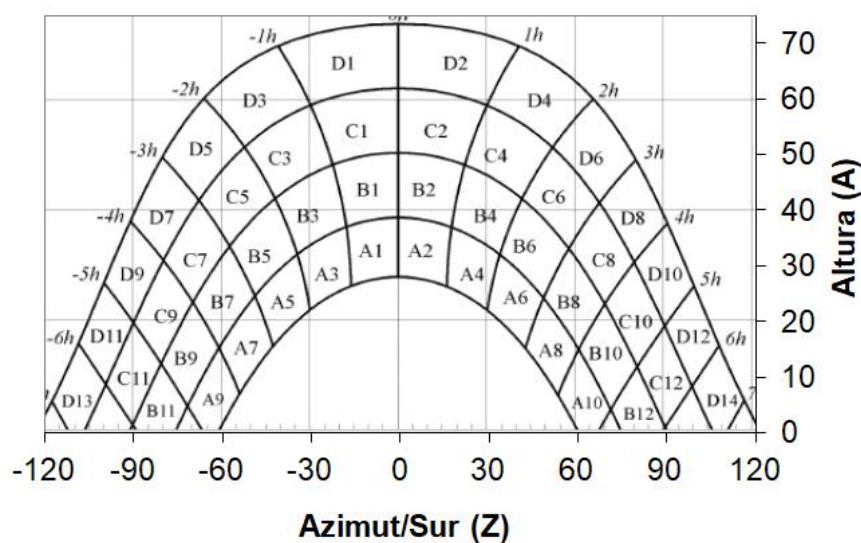


Figura 39: Diagrama para obtener los coeficientes de las pérdidas por sombras en la Península Ibérica y en las Islas Baleares.

La disposición de los paneles fotovoltaicos con una orientación y una inclinación que no se corresponde con la óptima suponen unas pérdidas en el sistema. El motivo por el cual no se consideran estas pérdidas del mismo modo que las anteriores radica en que el programa PVGIS solicita que se defina la orientación y la inclinación de los módulos fotovoltaicos, información que se emplea para la estimación de la irradiancia incidente, por lo que las pérdidas correspondientes a este aspecto se encuentran incluidas en el cálculo.

Las pérdidas por sombras se encuentran limitadas por el DB HE5 del CTE, según se detalla en el siguiente cuadro:

| Tabla 2.3 Pérdidas límite | | | |
|---|---------------------------|---------|-------|
| Caso | Orientación e inclinación | Sombras | Total |
| General | 10% | 10% | 15% |
| Superposición de módulos fotovoltaicos | 20% | 15% | 30% |
| Integración arquitectónica de módulos fotovoltaicos | 40% | 20% | 50% |

Tabla 37: Pérdidas por orientación y sombras límite. Fuente: CTE.

6.2. Selección del módulo fotovoltaico.

Dadas las limitaciones de superficie para la instalación de paneles fotovoltaicos, se opta por la utilización de módulos monocristalinos de elevada eficiencia, para que de este modo se obtenga la máxima energía por unidad de superficie. Se selecciona el modelo CS1H 345MS de la marca Canadian Solar. Las especificaciones técnicas se pueden consultar en las siguientes figuras:

| ELECTRICAL DATA STC* | | | | | | |
|------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| CS1H | 320MS | 325MS | 330MS | 335MS | 340MS | 345MS |
| Nominal Max. Power (Pmax) | 320 W | 325 W | 330 W | 335 W | 340 W | 345 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 36.2 V | 36.6 V | 37.0 V | 37.4 V | 37.8 V | 38.2 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 8.85 A | 8.88 A | 8.92 A | 8.96 A | 9.00 A | 9.04 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 44.0 V | 44.1 V | 44.2 V | 44.3 V | 44.5 V | 44.6 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 9.41 A | 9.45 A | 9.49 A | 9.53 A | 9.57 A | 9.61 A |
| Module Efficiency | 18.98% | 19.27% | 19.57% | 19.86% | 20.16% | 20.46% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC) or 1000V (IEC/UL) | | | | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730) | | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 15 A | | | | | |
| Application Classification | Class A | | | | | |
| Power Tolerance | 0 ~ + 5 W | | | | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Figura 40: Especificaciones técnicas del panel CS1H 345MS (I). Fuente: Catálogo digital de Canadian Solar.

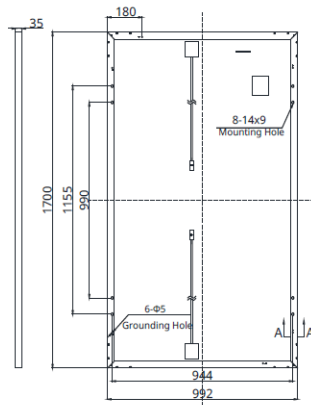
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.37 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.29 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.05 % / °C |
| Nominal Module Operating Temperature | 43±3 °C |

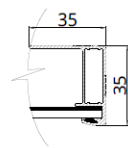
Figura 41: Especificaciones técnicas del panel CS1H 345MS (II). Fuente: Catálogo digital de Canadian Solar.

ENGINEERING DRAWING (mm)

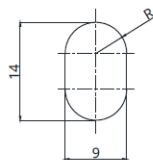
Rear View



Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS1H-330MS / I-V CURVES

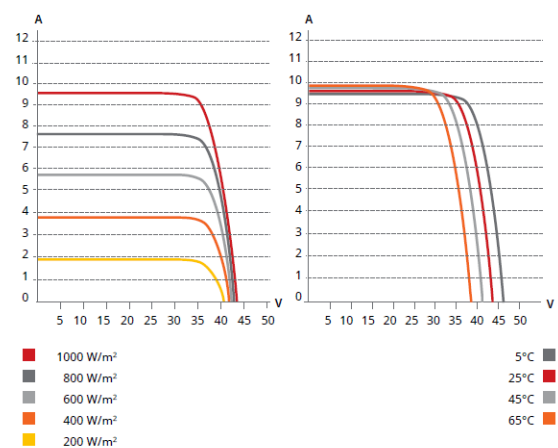


Figura 42: Especificaciones técnicas del panel CS1H 345MS (III). Fuente: Catálogo digital de Canadian Solar.

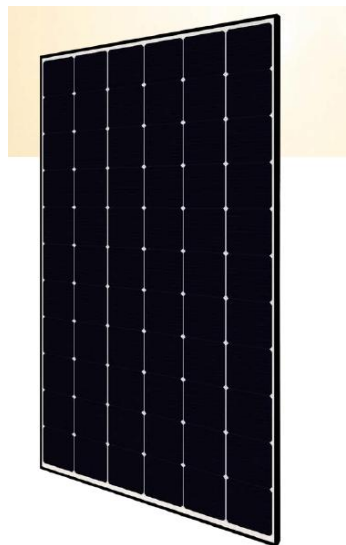


Figura 43: Panel CS1H 345MS. Fuente: Catálogo digital de Canadian Solar.

6.3. Instalación fotovoltaica en cubierta.

El edificio propuesto dispone de una superficie de cubierta de 903,67 m² de superficie. En la cubierta se sitúan las unidades de tratamiento de aire y las unidades exteriores de los equipos de climatización. Estos elementos serán situados en la zona norte del edificio para minimizar el sombreado de las placas fotovoltaicas.

En cubierta se valorarán dos opciones en la disposición de los paneles: colocar los paneles inclinados con el ángulo óptimo o poner los paneles de forma horizontal en el suelo. La primera opción maximiza la generación de cada panel mientras que la segunda se centra en la colocación del máximo número de paneles aprovechando que no generan sombras entre ellos.

6.3.1. Alternativa 1 en cubierta: Ángulo óptimo.

En esta alternativa se colocarán los paneles fotovoltaicos con la orientación y la inclinación óptima. El programa PVGIS permite calcular el ángulo de inclinación y el ángulo de azimut óptimos. Para la ubicación del edificio el ángulo de inclinación óptimo es de 34°, y el ángulo de azimut óptimo es de - 4°.

Para evitar la generación de sombras entre los paneles se realizará la construcción geométrica de la sombra producida durante el día más crítico del año, que se corresponde cuando la altura solar es mínima. Este día es cuando se produce el solsticio de invierno, que es el 21 de diciembre.

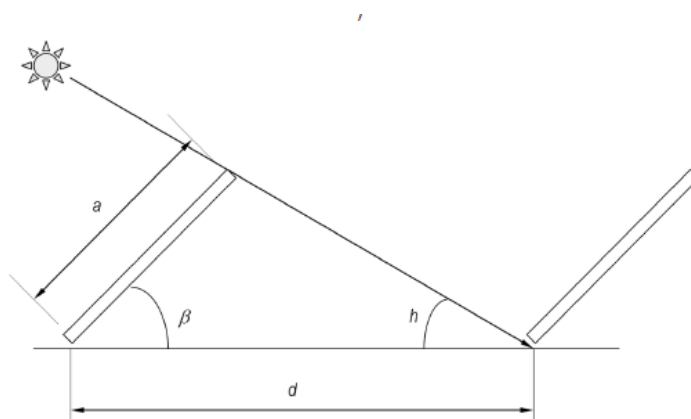


Figura 44: Cálculo de la distancia entre paneles.

Según el criterio anterior, la distancia entre paneles se calcula de forma analítica mediante la siguiente expresión:

$$d = a * \left(\cos\beta + \frac{\sin\beta}{\tan h} \right) \quad (2)$$

Donde:

d: es la distancia entre paneles, en m.

a: es la altura del panel, en m.

β : es la inclinación del panel, en grados.

h: es la altura solar, en grados.

La altura solar, h, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$h = 90^\circ - \text{latitud} (^\circ) + \text{declinación día crítico} (^\circ)$$

En el caso donde está ubicado el edificio propuesto, la latitud es de 38° y la declinación del día crítico (mediodía del 21 de diciembre) es $23,5^\circ$. Con los datos anteriores resulta una altura solar de $28,5^\circ$.

Aplicando la expresión (2) para unos paneles de altura 1,7 metros y dispuestos con una inclinación de 34° , resulta una distancia mínima entre paneles de 3,16 metros. Aplicando la misma expresión para el bordillo perimetral de 0,5 metros de altura que rodea la cubierta, se obtiene una distancia de 0,92 metros.

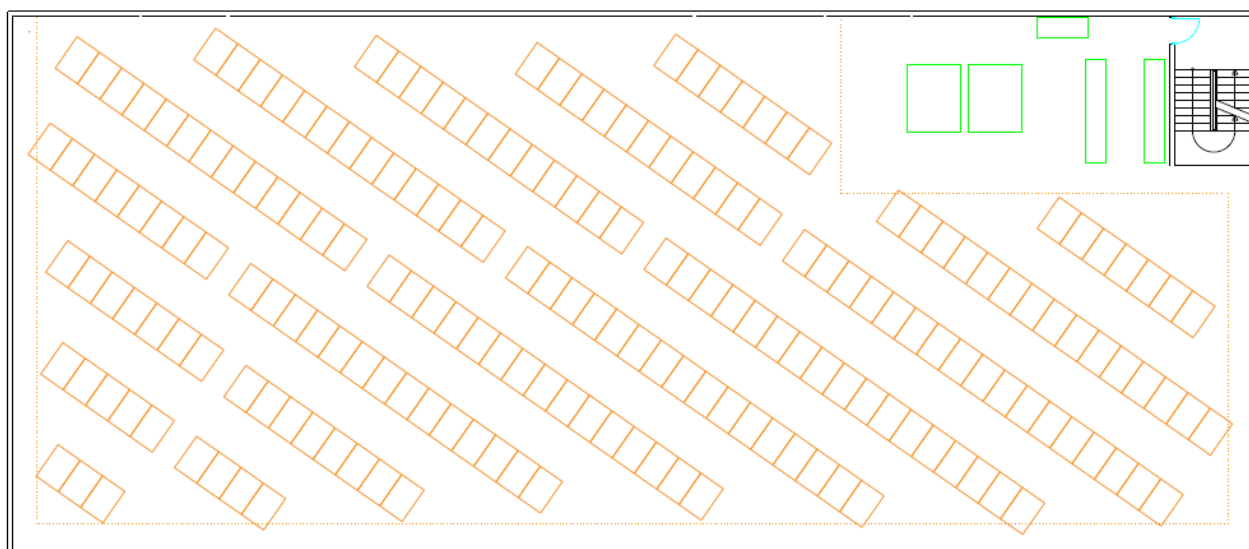


Figura 45: Disposición de los paneles según inclinación y orientación óptima en cubierta.

En verde se representan los elementos de climatización y ventilación. Los tres elementos más esbeltos simbolizan las unidades exteriores, y las dos figuras con una forma más cuadrada son las UTAs. Estos elementos se encuentran en la esquina norte del edificio para minimizar las sombras sobre la instalación fotovoltaica.

Disponiendo los paneles fotovoltaicos con las distancias consideradas, se tiene en cubierta una instalación de 192 paneles, lo que supone una potencia pico instalada de 66,24 kW.

Para la instalación se escogerán 3 inversores modelo Fronius ECO de 25 kW. En el Anexo III se pueden consultar las características de los inversores empleados. Cada uno de los inversores se conectará a 64 paneles. Los paneles deberán ser conectados de modo que los valores máximos de intensidad y de voltaje no superen los límites de entrada del inversor seleccionado. El mayor voltaje que pueden proporcionar los módulos fotovoltaicos será el producto entre el número de paneles por ristra por el voltaje de circuito abierto del panel (V_{oc}), mientras que la mayor intensidad será el producto entre el número de ristas y la intensidad de cortocircuito del panel (I_{sc}). Atendiendo a estos conceptos se definirá la conexión serie y paralelo de los módulos:

- 3 agrupaciones de 64 paneles:

Cada agrupación se compondrá de 4 ristas de 16 paneles cada una de ellas.

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ paneles por ristra} * V_{oc} = 16 * 44,6 V = 713,6 V < V \text{ entrada límite inversor} = 1000 V$$

$$I_{max} = N^{\circ} \text{ ristas} * I_{sc} = 4 * 9,61 = 38,44 < I \text{ entrada límite inversor} = 44,2 A$$

Para el cálculo de la energía anual generada por este sistema se debe determinar las pérdidas asociadas. Para el cálculo de las pérdidas por sombra ocasionada por los bordillos, cuya altura es de 0,5 metros, se representará en el diagrama de sombras la elevación y el azimut de los puntos que se indican en el siguiente esquema:

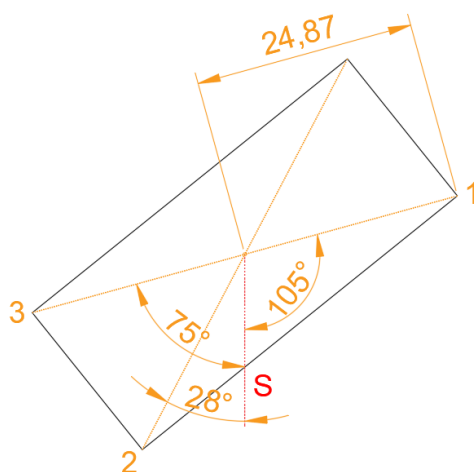


Figura 46: Esquema para cálculo de sombras en la cubierta.

La elevación y el azimut de los puntos indicados se muestran en la siguiente tabla:

| | | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Punto Geo. | 1 | 2 | 3 |
| γ (Elevación) | $1,15^\circ$ | $1,15^\circ$ | $1,15^\circ$ |
| α (Acimut) | -105° | 28° | 75° |

Tabla 38: Elevación y acimut del bordillo perimetral de cubierta.

Al representar los puntos anteriores en el diagrama se puede observar que las pérdidas por sombra son prácticamente despreciables.

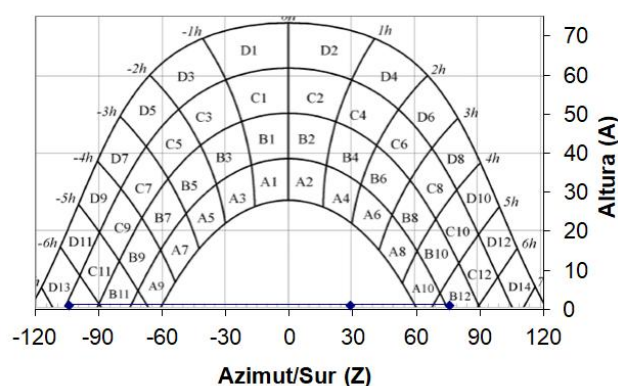


Figura 47: Representación de la sombra generada por el bordillo.

En la siguiente tabla se pueden observar las pérdidas totales del sistema, a falta de las debidas a la temperatura, según las consideraciones expuestas en el apartado 6.1.2.

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Pérdidas por cableado | 3% |
| Pérdidas por ensuciamiento | 4% |
| Pérdidas por dispersión de parámetros | 3% |
| Pérdidas en el inversor | 2% |
| Pérdidas por sombra | 0% |
| Total pérdidas | 12% |

Tabla 39: Pérdidas asociadas a la alternativa 1 en cubierta.

Para obtener la estimación de la energía producida se realizará el cálculo en el programa PVGIS. La introducción de datos para el cálculo se detalla en la siguiente captura de pantalla:

Cursor:
 Seleccionado: 38.006, -1.143
 Elevación (m): 41

Utilizar las sombras del terreno:
☒ Horizonte calculado
☐ Cargar archivo de horizonte

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED

Base de datos de radiación solar*
 PVGIS-CMSAF

Tecnología FV*
 Silicio cristalino

Potencia FV pico instalada [kWp]*
 66.24

Pérdidas sistema [%]*
 12

Opciones de montaje fijo

Posición de montaje *
 Posición libre

Inclinación [°]*
 35

Azimut [°]*
 0

☐ Optimizar inclinación

☒ Optimizar inclinación y azimut

Precio electricidad FV

Coste sistema FV [su divisa]

Interés [%/año]

Vida útil [años]

Visualizar resultados **Descargar csv**

Figura 48: Introducción de datos en el programa PVGIS para la alternativa 1 en cubierta.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

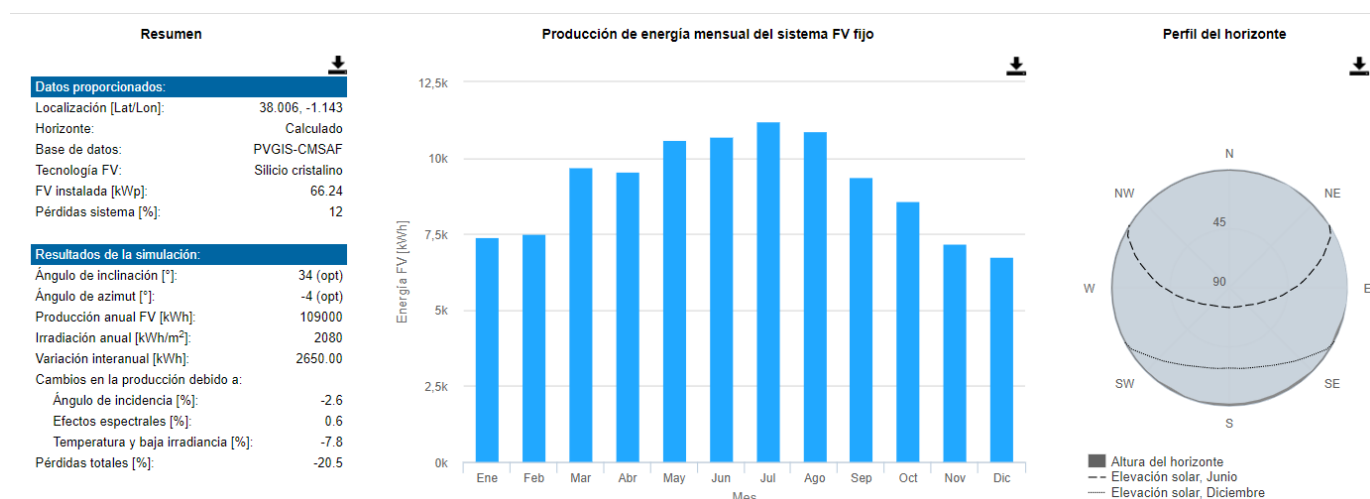


Figura 49: Resultados del programa PVGIS para la alternativa 1 en cubierta.

De los resultados se obtienen unas pérdidas por temperatura del 7,8% y unas pérdidas por ángulo de incidencia del 2,6%.

El programa PVGIS considera que el sistema fotovoltaico está generando durante todos los días del año, aunque en el caso del edificio de oficinas propuesto únicamente se aprovechará la energía generada durante los días laborales, por lo que para realizar un análisis acorde con la realidad habrá que descontar la producción asociada a los días que no se trabaja. Tras esta corrección, los resultados son los siguientes:

| Mes | Energía producida (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| Enero | 5.006,13 |
| Febrero | 5.371,43 |
| Marzo | 6.876,77 |
| Abril | 6.373,33 |
| Mayo | 7.522,58 |
| Junio | 7.490,00 |
| Julio | 8.670,97 |
| Agosto | 7.383,87 |
| Septiembre | 6.864,00 |
| Octubre | 6.358,39 |
| Noviembre | 4.786,67 |
| Diciembre | 4.143,23 |
| Total | 76.847,36 |

Tabla 40: Energía generada por la Alternativa 1 en cubierta.

6.3.2. Alternativa 2 en cubierta: Paneles horizontales.

La segunda alternativa que se estudiará en cubierta consiste en disponer los paneles fotovoltaicos de forma coplanar respecto al suelo de la cubierta. De este modo, al no generarse sombras entre los propios paneles se podrá aumentar su número en cubierta. Al colocar los paneles fotovoltaicos de forma horizontal aumentarán las pérdidas por orientación, lo que reduce la eficiencia del sistema en comparación con el caso del ángulo óptimo.

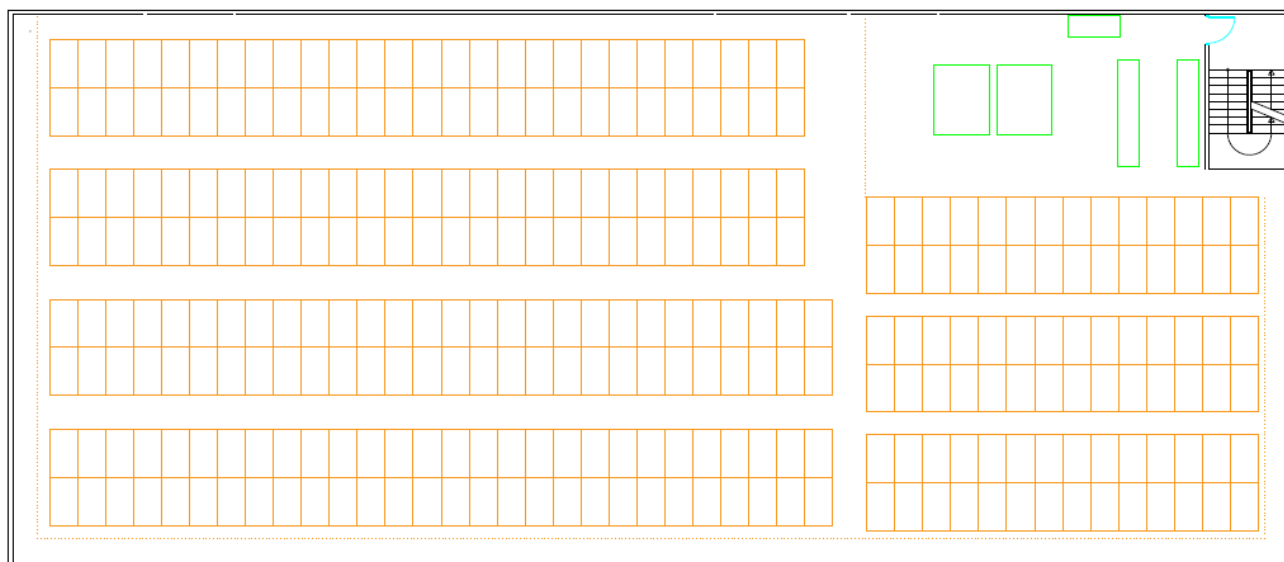


Figura 50: Disposición de los paneles según inclinación y orientación óptima en cubierta.

Mediante la configuración horizontal se consigue colocar en cubierta 304 paneles, lo que supone una potencia pico instalada de 104,88 kW.

Para la instalación se escogerán 4 inversores modelo Fronius ECO de 27 kW. Cada uno de los inversores se conectará a 76 paneles. La configuración del número de módulos por ristra se justifica a continuación:

- 4 agrupaciones de 76 paneles:

Cada agrupación se compondrá de 4 ristras de 19 paneles cada una de ellas.

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ paneles por ristra} * V_{oc} = 19 * 44,6 V = 847,4 V < V \text{ entrada límite inversor} = 1000 V$$

$$I_{max} = N^{\circ} \text{ ristras} * I_{sc} = 4 * 9.61 = 38,44 < I \text{ entrada límite inversor} = 44,2 A$$

Las pérdidas asociadas a esta configuración serán similares en gran parte a las que se consideraron en la alternativa del ángulo óptimo. La diferencia estará en las pérdidas por ensuciamiento, que en este caso serán del 8%. Donde habrá también un aumento en las pérdidas será en la inclinación, las cuales serán calculadas por el programa PVGIS.

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Pérdidas por cableado | 3% |
| Pérdidas por ensuciamiento | 8% |
| Pérdidas por dispersión de parámetros | 3% |
| Pérdidas en el inversor | 2% |
| Pérdidas por sombra | 0% |
| Total pérdidas | 16% |

Tabla 41: Pérdidas asociadas a la alternativa 2 en cubierta.

La introducción de datos para el cálculo se detalla en la siguiente captura de pantalla:

The screenshot displays the PVGIS web application interface. On the left, a map shows a location in Italy (Ispira) with a blue pin. The right panel contains the 'RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED' (Performance of a PV system connected to a grid) form. The form includes fields for:

- Cursor:** Seleccionado: 38.006, -1.143; Elevación (m): 41.
- Utilizar las sombras del terreno:** Horizontes calculados (checked), Cargar archivo de horizonte (button).
- Base de datos de radiación solar:** PVGIS-CMSAF (dropdown).
- Tecnología FV:** Silicio cristalino (dropdown).
- Potencia FV pico instalada [kWp]:** 104,89 (input field).
- Pérdidas sistema [%]:** 16 (input field).
- Opciones de montaje fijo:** Posición de montaje (Posición libre dropdown), Optimizar inclinación (checkbox), Optimizar inclinación y azimut (checkbox).
- Precio electricidad FV:** Coste sistema FV [su divisa], Interés [%/año], Vida útil [años] (all input fields).

 At the bottom, there are buttons for 'Visualizar resultados' and 'Descargar csv'.

Figura 51: Introducción de datos en el programa PVGIS para la alternativa 2 en cubierta.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

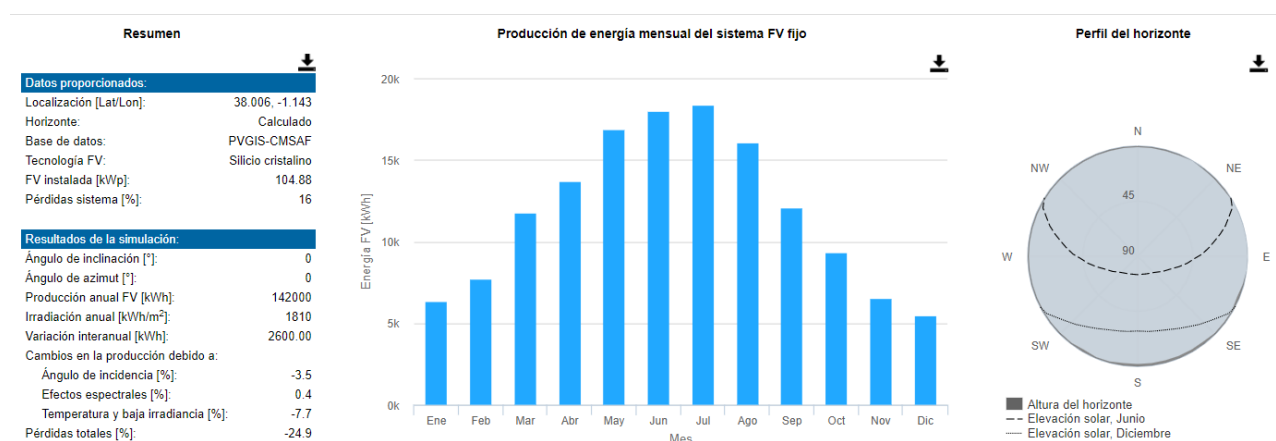


Figura 52: Resultados del programa PVGIS para la alternativa 2 en cubierta.

De los resultados se obtienen unas pérdidas por temperatura del 7,7% y unas pérdidas por ángulo de incidencia del 3,5%.

Igual que en el caso anterior, se hallará la energía generada durante los días laborales:

| Mes | Energía útil producida (kWh) |
|--------------|------------------------------|
| Enero | 4.308,39 |
| Febrero | 5.521,43 |
| Marzo | 8.374,19 |
| Abril | 9.133,33 |
| Mayo | 11.993,55 |
| Junio | 12.600,00 |
| Julio | 14.245,16 |
| Agosto | 10.906,45 |
| Septiembre | 8.873,33 |
| Octubre | 6.951,94 |
| Noviembre | 4.346,67 |
| Diciembre | 3.364,84 |
| Total | 100.619,28 |

Tabla XX: Energía generada por la Alternativa 2 en cubierta.

6.3.3 Comparación de las alternativas en cubierta.

Una vez calculadas las dos alternativas, se compararán desde el punto de vista energético. En la siguiente tabla se compara la producción mensual producida de cada una de las dos alternativas.

| Mes | Energía producida por Alternativa 1 (kWh) | Energía producida por Alternativa 2 (kWh) | Variación absoluta (Alternativa 2 - Alternativa 1) | Variación relativa (%) |
|--------------|---|---|--|------------------------|
| Enero | 5.006,13 | 4.308,39 | -697,74 | -16,19% |
| Febrero | 5.371,43 | 5.521,43 | 150,00 | 2,72% |
| Marzo | 6.876,77 | 8.374,19 | 1.497,42 | 17,88% |
| Abril | 6.373,33 | 9.133,33 | 2.760,00 | 30,22% |
| Mayo | 7.522,58 | 11.993,55 | 4.470,97 | 37,28% |
| Junio | 7.490,00 | 12.600,00 | 5.110,00 | 40,56% |
| Julio | 8.670,97 | 14.245,16 | 5.574,19 | 39,13% |
| Agosto | 7.383,87 | 10.906,45 | 3.522,58 | 32,30% |
| Septiembre | 6.864,00 | 8.873,33 | 2.009,33 | 22,64% |
| Octubre | 6.358,39 | 6.951,94 | 593,55 | 8,54% |
| Noviembre | 4.786,67 | 4.346,67 | -440,00 | -10,12% |
| Diciembre | 4.143,23 | 3.364,84 | -778,39 | -23,13% |
| Total | 76.847,36 | 100.619,28 | 23.771,91 | 23,63% |

Tabla 42: Comparación de la energía producida mensualmente entre ambas alternativas.

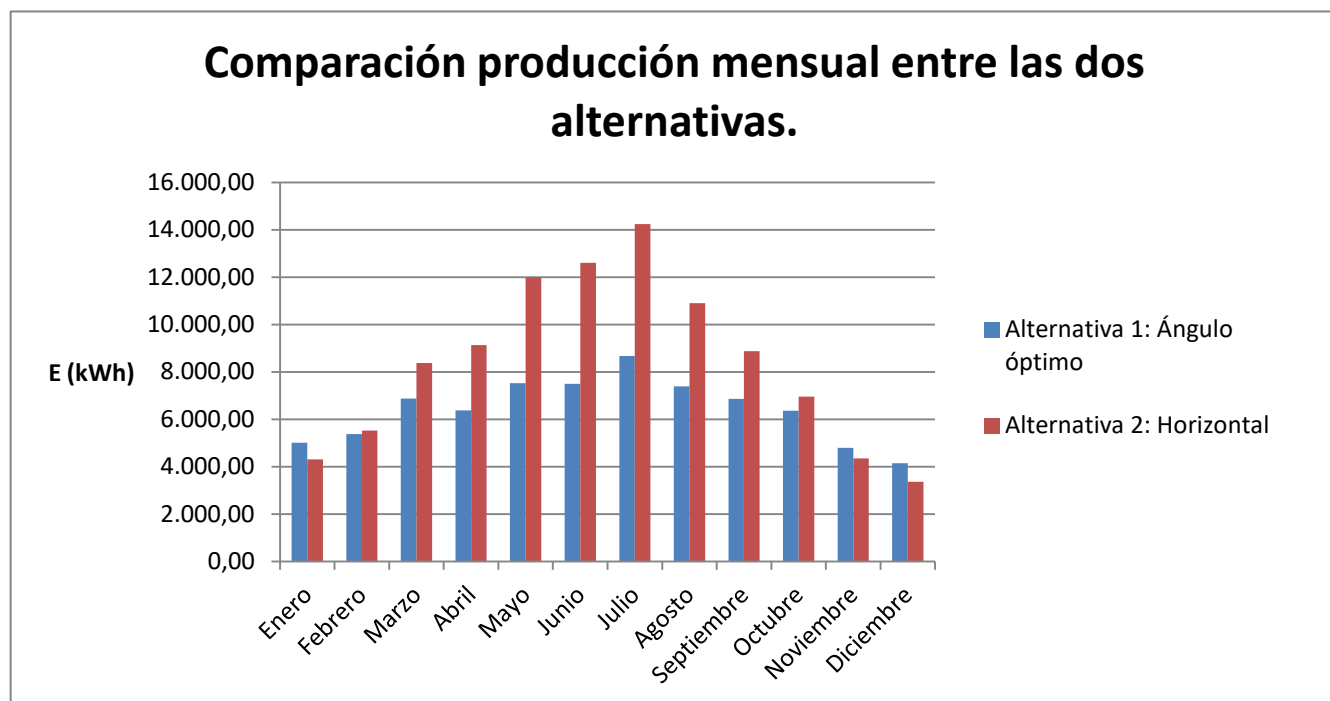


Figura 53: Comparación de la energía producida mensualmente entre ambas alternativas.

Se puede apreciar que en la mayoría de los meses la alternativa 2 produce más que la alternativa 1, únicamente en los meses más invernales (enero, noviembre y diciembre) se observa que disponer los módulos según el ángulo óptimo produce más energía que poner los módulos horizontalmente. También se aprecia que en los meses de verano se acentúa todavía más el incremento de producción de la alternativa 2 sobre la alternativa 1, alcanzando en junio un aumento de casi el 41%. En todo el año hay una diferencia de producción autoconsumida de 23.771,91 kWh entre ambas alternativas, que en términos relativos es de 23,63%.

También resulta de interés la comparación de otros aspectos, como es la superficie de captación o el ratio entre la energía generada y la superficie de captación.

| | Alternativa 1: Ángulo óptimo | Alternativa 2: Horizontal | Diferencia absoluta (Alternativa 2 - Alternativa 1) | Diferencia relativa (%) |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|
| Número de paneles | 192 | 304 | 112 | 36,84% |
| Potencia pico instalada (kWp) | 66,24 | 104,88 | 38,64 | 36,84% |
| Generación autoconsumida anual (kWh) | 76.847,36 | 100.619,28 | 23.771,92 | 23,63% |
| Superficie de captación (m2) | 324,48 | 513,76 | 189,28 | 36,84% |
| Ratio kWh/m2 de captador al año | 236,83 | 195,85 | -40,98 | -20,93% |
| Ratio kWh/m2 de suelo al año | 107,9 | 141,28 | 33,38 | 23,63% |

Tabla 43: Comparación entre ambas alternativas en cubierta.

Con los resultados de la tabla anterior se puede cuantificar la pérdida de eficiencia a nivel de módulo que supone colocar los paneles horizontalmente. Para cumplimentar la comparación, en el análisis económico se evaluará la rentabilidad de cada alternativa, no obstante, el hecho de que con un aumento del 36,84% de los paneles de la alternativa 2 respecto la alternativa 1, se consiga un aumento de la producción del 23,63% es indicativo de que la alternativa 1 pueda ser más rentable.

6.4. Instalación fotovoltaica en fachada.

Para aumentar la capacidad de autoconsumo del edificio propuesto se emplearán también las superficies de las fachadas orientadas al sureste y al suroeste para la instalación de módulos fotovoltaicos. Se emplearán dos formas de disponer los módulos en cada fachada: inclinados según el ángulo óptimo encima de cada una de las ventanas de cada planta, y colocados de forma vertical, coplanar a la fachada.

Los módulos fotovoltaicos en fachada, aparte de generar energía para el autoconsumo, contribuyen de forma pasiva al ahorro energético. Los módulos inclinados sobre las ventanas protegen al cristal de la incidencia de la radiación solar, reduciendo las necesidades de refrigeración durante los meses más calurosos. Los módulos colocados de forma vertical se integran en la doble pared de la fachada, formando parte del aislamiento del edificio, lo que se traduce en un ahorro energético tanto en refrigeración como en calefacción.

En el lugar donde se ha propuesto la ubicación del edificio actualmente existen pocas construcciones que puedan proyectar sombras sobre la fachada, donde únicamente hay una edificación de escasa altura en el lado noroeste que pueda generar sombra en la fachada. Para que los resultados que se obtengan de este análisis sean lo más realistas posibles y se puedan extrapolar con más facilidad a cualquier otra ubicación, se considerará que en frente de las fachadas sureste y suroeste del edificio propuesto hay otras construcciones de similar altura. Con

esta consideración, el estudio que se va a realizar tendrá validez en otros entornos urbanos. En la siguiente figura, los edificios ficticios considerados se representan en color azul, y en color rojo se indica la ubicación del edificio objeto del presente estudio.



Figura 54: Ubicación de los edificios ficticios considerados para la generación de las sobras.

Para minimizar las sombras entre los propios paneles, para lo que es fundamental definir unas distancias mínimas. Se seguirá un criterio similar al empleado en la disposición de los paneles según el ángulo óptimo en cubierta, es decir, que no se realicen sombras en los módulos durante el mediodía del día 21 de diciembre. En la siguiente figura se representa esquemáticamente la situación:

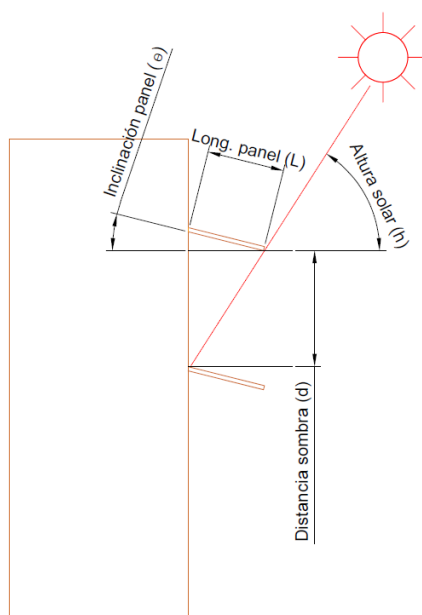


Figura 55: Esquema de la sombra producida por los paneles verticales en fachada.

Para calcular analíticamente la sombra proyectada, se emplea la siguiente expresión trigonométrica:

$$d = \frac{\tan h}{L \cdot \cos \theta} \quad (3)$$

6.4.1. Fachada sureste.

La fachada sureste tiene una longitud de 45,64 metros y una altura de 17,5 metros. En primer lugar se deberá calcular la inclinación óptima de los paneles solares que se dispongan inclinados. La orientación de los paneles será la misma que posee la fachada, cuyo azimut es de -35° . Mediante el programa PVGIS se obtiene que el ángulo óptimo para la orientación de la fachada es 32° . El lado más pequeño del módulo será el que esté empotrado en la fachada.

Aplicando la expresión (3) del apartado anterior, la distancia mínima entre el lado extremo volante del módulo inclinado y la cota superior del módulo vertical es de 0,78 m. En la siguiente figura se aprecia la distribución de paneles fotovoltaicos, tanto inclinados como verticales, en la fachada sureste.

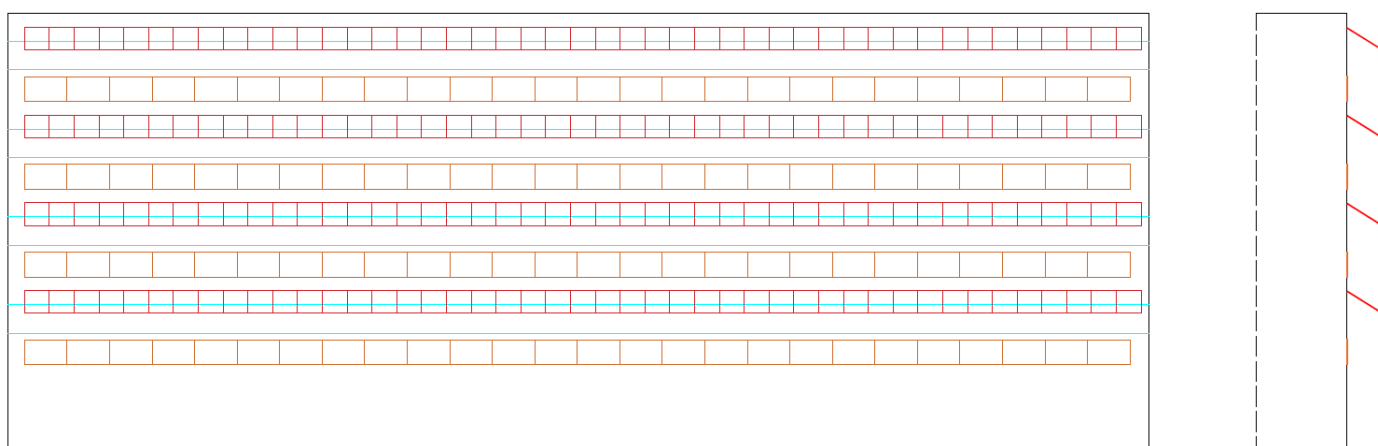


Figura 56: Vista frontal y de perfil de la disposición de los paneles en la fachada sureste del edificio.

En rojo se indican los módulos dispuestos según el ángulo óptimo (32°), y en naranja se representan los módulos verticales. En total hay unos 180 módulos inclinados, lo que supone una potencia de pico de 62,1 kW; y unos 104 módulos verticales, que suman una potencia de pico de 35,88 kW. En azul se representa la ventana continua que discurre por cada una de las plantas.

Para los paneles inclinados según el ángulo óptimo se escogerán 3 inversores modelo Fronius Symo de 20 kW. En el Anexo III se pueden consultar las características del inversor propuesto. Cada uno de los inversores se conectará a 60 paneles. La configuración del número de módulos por ristra se justifica a continuación:

- 3 agrupaciones de 60 paneles:

Cada agrupación se compondrá de 4 ristas de 15 paneles cada una de ellas.

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ paneles por ristra} * V_{oc} = 15 * 44,6 V = 669 V < V \text{ entrada límite inversor} = 1000 V$$

$$I_{max} = N^{\circ} \text{ ristas} * I_{sc} = 4 * 9.61 = 38,44 < I \text{ entrada límite inversor} = 40,5 A$$

Los paneles verticales serán agrupados en dos conjuntos de 52 paneles. Cada grupo será conectado a un inversor modelo Fronius Symo de 17,5 kW. La conexión paralelo-serie de los módulos será la siguiente:

- 2 agrupaciones de 52 paneles:

Cada agrupación se compondrá de 4 ristas de 13 paneles cada una de ellas.

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ paneles por ristra} * V_{oc} = 13 * 44,6 V = 579,8 V < V \text{ entrada límite inversor} = 1000 V$$

$$I_{max} = N^{\circ} \text{ ristas} * I_{sc} = 4 * 9.61 = 38,44 < I \text{ entrada límite inversor} = 40,5 A$$

Los módulos colocados en la fachada sureste serán sombreados por el edificio ficticio que hay en el otro lado de la calle y por el propio muro que compone la fachada sureste del edificio estudiado. La distancia entre los dos edificios se supondrá de 14 metros.

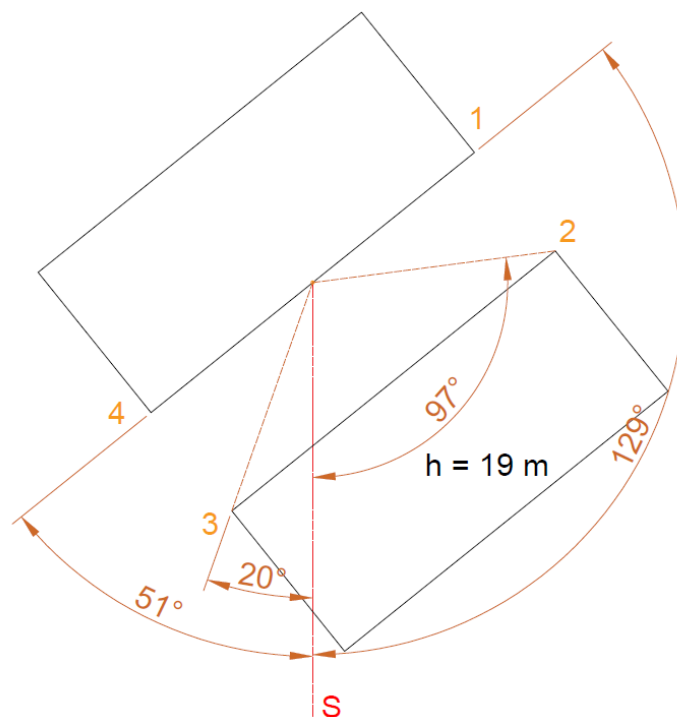


Figura 57: Esquema para cálculo de sombras en la fachada sureste.

Los puntos 1 y 4 representan el muro del edificio propuesto, y los puntos 2 y 3 indican el edificio que se encontraría al otro lado de la calle. Para el cálculo de la elevación o altura de los puntos se tomará como referencia el centro de la zona de la fachada donde se ubican los paneles, cuya altura respecto al suelo es de 10,3 metros. La elevación de los puntos 1 y 4 constituyen un caso límite, cuyo valor sería infinito. La elevación y el acimut de los puntos que definen el perfil de sombras se representan a continuación:

| Punto Geo. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|--------------|---------------|---------------|------------|
| γ (Elevación) | ∞ | $17,75^\circ$ | $18,02^\circ$ | ∞ |
| α (Acimut) | -129° | -97° | 20° | 51° |

Tabla 44: Elevación y acimut del perfil de sombras en la fachada sureste.

En la siguiente figura se representan los puntos del perfil de sombras en el diagrama:

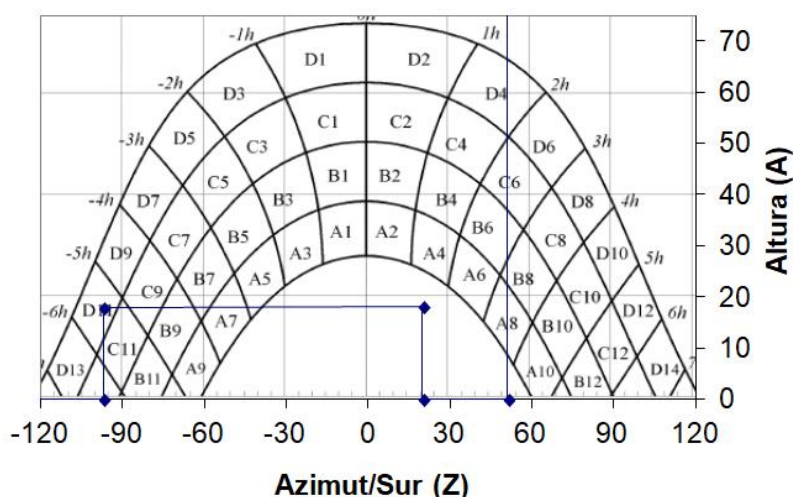


Figura 58: Representación de la sombra generada en la fachada sureste.

Para el cálculo del índice de sombras habrá que sumar los coeficientes sombreados, considerando un 25%, un 50%, un 75% o un 100%, en función del grado de ocultación por parte del perfil. Los coeficientes dependen de la inclinación y de la orientación del panel.

El cálculo de las pérdidas por sombra será el siguiente:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{sombra}} (\%) = & 1 * A9 + 0,5 * A7 + 0,25 * A5 + 0,5 * A8 + 1 * A10 + 1 * B11 + 0,75 * B9 + 0,25 * B7 \\
 & + 0,25 * B6 + 1 * B8 + 1 * B10 + 1 * B12 + 1 * C11 + 0,25 * C9 + 0,25 * C2 + 0,25 * C6 \\
 & + 1 * C8 + 1 * C10 + 1 * C1 + 0,75 * D11 + 0,5 * D4 + 1 * D6 + 1 * D8 + 1 * D10 + 1 \\
 & * D12 + 1 * D14
 \end{aligned}$$

Para los paneles inclinados 32°, los coeficientes a emplear son:

Tabla V-8

| $\beta = 35^\circ$ $\alpha = -30^\circ$ | A | B | C | D |
|--|------|------|------|------|
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,22 |
| 11 | 0,00 | 0,03 | 0,37 | 1,26 |
| 9 | 0,21 | 0,70 | 1,05 | 2,50 |
| 7 | 1,34 | 1,28 | 1,73 | 3,79 |
| 5 | 2,17 | 1,79 | 2,21 | 4,70 |
| 3 | 2,90 | 2,05 | 2,43 | 5,20 |
| 1 | 3,12 | 2,13 | 2,47 | 5,20 |
| 2 | 2,88 | 1,96 | 2,19 | 4,77 |
| 4 | 2,22 | 1,60 | 1,73 | 3,91 |
| 6 | 1,27 | 1,11 | 1,25 | 2,84 |
| 8 | 0,52 | 0,57 | 0,65 | 1,64 |
| 10 | 0,02 | 0,10 | 0,15 | 0,50 |
| 12 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,05 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 |

Tabla 45: Coeficientes de las pérdidas por sombra de para una orientación de -30° y para una inclinación de 35°.

Para los paneles verticales, los coeficientes correspondientes son:

Tabla V-9

| $\beta = 90^\circ$ $\alpha = -30^\circ$ | A | B | C | D |
|--|------|------|------|------|
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,24 |
| 11 | 0,00 | 0,05 | 0,60 | 1,28 |
| 9 | 0,43 | 1,17 | 1,38 | 2,30 |
| 7 | 2,42 | 1,82 | 1,98 | 3,15 |
| 5 | 3,43 | 2,24 | 2,24 | 3,51 |
| 3 | 4,12 | 2,29 | 2,18 | 3,38 |
| 1 | 4,05 | 2,11 | 1,93 | 2,77 |
| 2 | 3,45 | 1,71 | 1,41 | 1,81 |
| 4 | 2,43 | 1,14 | 0,79 | 0,64 |
| 6 | 1,24 | 0,54 | 0,20 | 0,11 |
| 8 | 0,40 | 0,03 | 0,06 | 0,31 |
| 10 | 0,01 | 0,06 | 0,12 | 0,39 |
| 12 | 0,00 | 0,01 | 0,13 | 0,45 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 |

Tabla 46: Coeficientes de las pérdidas por sombra de para una orientación de -30° y para una inclinación de 90°.

Tras hacer los cálculos correspondientes con los diferentes coeficientes se tiene que las pérdidas por sombras en los paneles inclinados son de 13,31%, y para los paneles verticales es de 8,44%. Se puede apreciar en fachadas las pérdidas por sombras suponen un aspecto importante. Los valores de pérdidas por sombras son aceptables según la tabla del DB HE 5 que establece las limitaciones.

En el siguiente cuadro se indican todas las pérdidas asociadas a cada una de las dos disposiciones en fachada, a excepción de las pérdidas de temperatura y por orientación que las calcula el programa PVGIS.

| | Paneles inclinados | Paneles verticales |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Pérdidas por cableado | 3% | 3% |
| Pérdidas por ensuciamiento | 4% | 2% |
| Pérdidas por dispersión de parámetros | 3% | 3% |
| Pérdidas en el inversor | 2% | 2% |
| Pérdidas por sombra | 13,31% | 8,44% |
| Total pérdidas | 25,31% | 18,44% |

Tabla 47: Pérdidas asociadas a las configuraciones en la fachada sureste.

Al introducir los datos al programa PVGIS, para los paneles verticales habrá que indicar que se tratan de elementos integrados en el edificio. Indicar esto afecta en aumentar las pérdidas por temperatura, debido a que estos paneles tienen menos capacidad de refrigeración que los que se disponen de forma más libre.

La introducción de datos en PVGIS para los paneles inclinados se muestra en la siguiente figura:

The screenshot displays the PVGIS web application interface. On the left is a map of a location in Granada, Spain, with a blue pin indicating the installation site. The right panel contains the configuration form. At the top, there's a 'Cursor' section showing coordinates (38.006, -1.143) and elevation (41m). Below this is a section for 'Utilizar las sombras del terreno' with a checked 'Horizonte calculado' option and a 'Cargar archivo de horizonte' button. The main configuration area is titled 'RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED'. It includes a sidebar with tabs for 'CONECTADO A RED', 'FV CON SEGUIMIENTO', 'FV AUTÓNOMO', 'DATOS MENSUALES', 'DATOS DIARIOS', 'DATOS HORARIOS', and 'TMY'. The 'CONECTADO A RED' tab is active. The form fields include: 'Base de datos de radiación solar*' (PVGIS-CMSAF), 'Tecnología FV*' (Silicio cristalino), 'Potencia FV pico instalada [kWp]*' (62), 'Pérdidas sistema [%]*' (25.3), 'Opciones de montaje fijo' (Posición libre), 'Inclinación [°]*' (35), 'Azimut [°]*' (-35), and checkboxes for 'Optimizar inclinación' and 'Optimizar inclinación y azimut'. At the bottom, there are buttons for 'Visualizar resultados' and 'Descargar csv'.

Figura 59: Introducción de datos en el programa PVGIS para los paneles inclinados en la fachada sureste.

Siendo los resultados obtenidos:

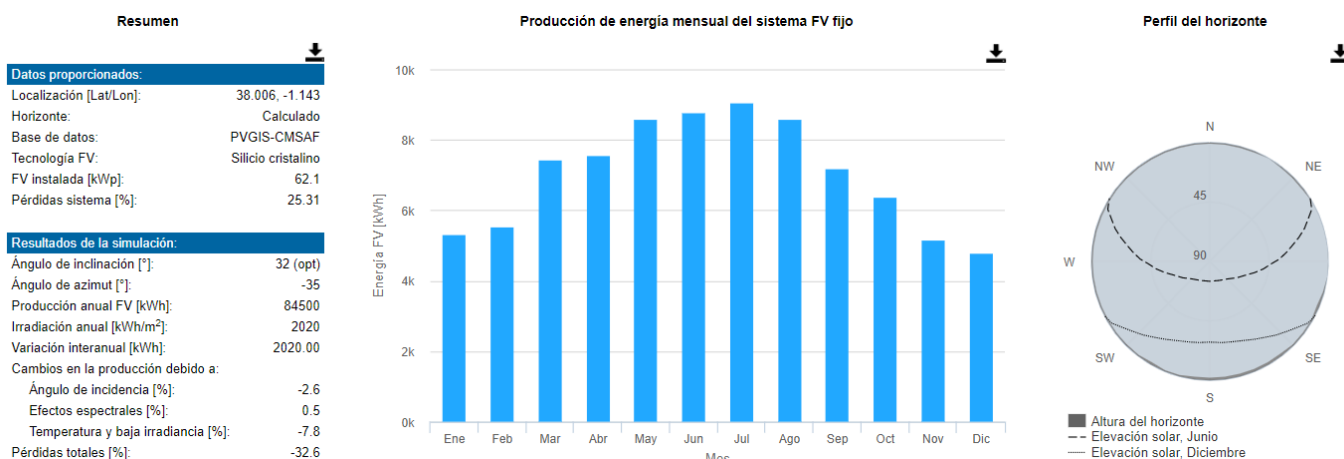


Figura 60: Resultados del programa PVGIS para los paneles inclinados en la fachada sureste.

Si se consideran únicamente los días de laborales:

| Mes | Energía producida (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| Enero | 3.610,65 |
| Febrero | 3.950,00 |
| Marzo | 5.294,19 |
| Abril | 5.046,67 |
| Mayo | 6.110,32 |
| Junio | 6.146,00 |
| Julio | 7.014,19 |
| Agosto | 5.832,58 |
| Septiembre | 5.272,67 |
| Octubre | 4.748,39 |
| Noviembre | 3.453,33 |
| Diciembre | 2.948,06 |
| Total | 59.427,05 |

Tabla 48: Energía generada por los módulos inclinados en la fachada sureste.

A continuación se muestra la introducción de los datos en el programa PVGIS para la simulación de los módulos dispuestos verticalmente en la fachada sureste:

Cursor:
 Seleccionado: 38.006, -1.143
 Elevación (m): 41

Utilizar las sombras del terreno:
☒ Horizonte calculado
☐ Cargar archivo de horizonte

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED

Base de datos de radiación solar*: PVGIS-CMSAF
 Tecnología FV*: Silicio cristalino
 Potencia FV pico instalada [kWp]*: 35.88
 Pérdidas sistema [%]: 18.44

Opciones de montaje fijo
 Posición de montaje*: Posición libre
☐ Optimizar inclinación
☐ Optimizar inclinación y azimut

Precio electricidad FV
 Coste sistema FV [su divisa]:
 Interés [%/año]:
 Vida útil [años]:

Visualizar resultados **Descargar csv**

Figura 61: Introducción de datos en el programa PVGIS para los paneles inclinados en la fachada sureste.

Siendo los resultados obtenidos los siguientes:

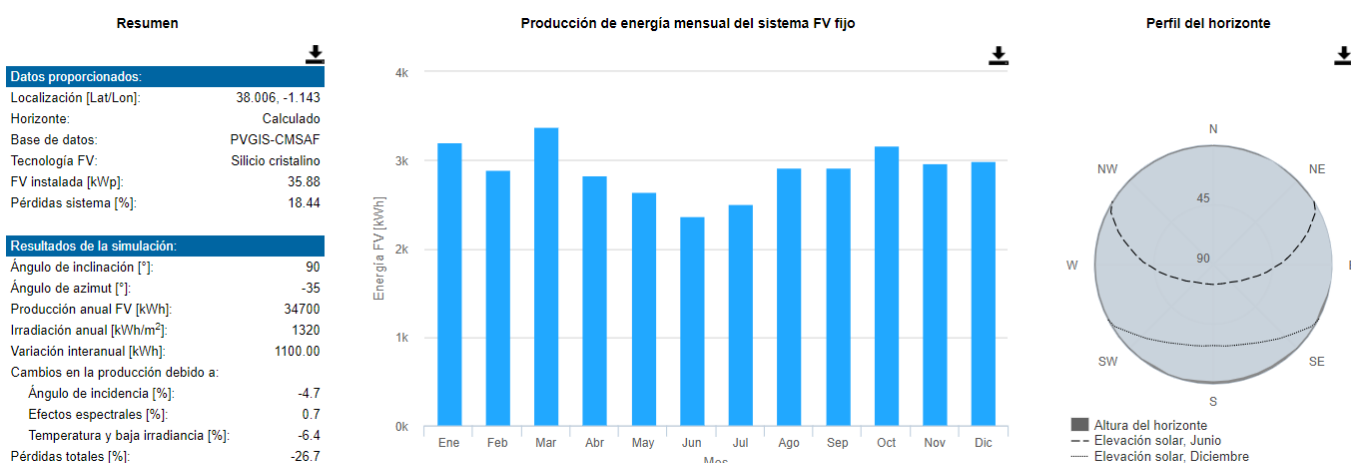


Figura 62: Resultados del programa PVGIS para los paneles verticales en la fachada sureste.

La energía generada cada mes, considerando solo los días de trabajo, sería:

| Mes | Energía útil producida (kWh) |
|------------|------------------------------|
| Enero | 2.167,74 |
| Febrero | 2.064,29 |
| Marzo | 2.398,71 |
| Abril | 1.886,67 |
| Mayo | 1.873,55 |
| Junio | 1.659,00 |
| Julio | 1.935,48 |
| Agosto | 1.971,29 |
| Septiembre | 2.141,33 |
| Octubre | 2.344,52 |

| | |
|--------------|------------------|
| Noviembre | 1.973,33 |
| Diciembre | 1.832,58 |
| Total | 24.248,49 |

Tabla 49: Energía generada por los módulos verticales en la fachada sureste.

Sumando la contribución total de los paneles, tanto inclinados como verticales, en la fachada sureste, se obtiene la siguiente energía generada para autoconsumo del edificio:

| Mes | Energía producida (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| Enero | 5.778,39 |
| Febrero | 6.014,29 |
| Marzo | 7.692,90 |
| Abril | 6.933,33 |
| Mayo | 7.983,87 |
| Junio | 7.805,00 |
| Julio | 8.949,68 |
| Agosto | 7.803,87 |
| Septiembre | 7.414,00 |
| Octubre | 7.092,90 |
| Noviembre | 5.426,67 |
| Diciembre | 4.780,65 |
| Total | 83.675,54 |

Tabla 50: Energía generada total en la fachada sureste.

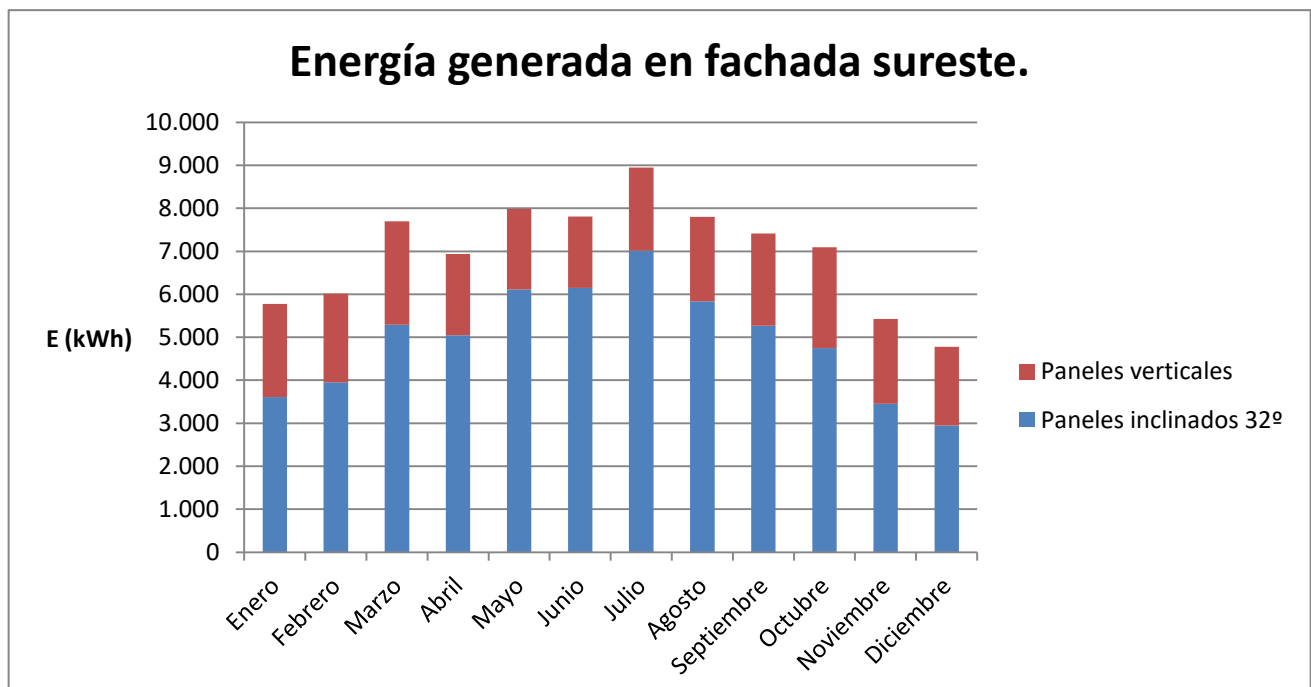


Figura 62: Energía generada total en la fachada sureste.

6.4.2. Fachada suroeste.

El procedimiento a seguir con la fachada suroeste será similar al seguido con la fachada sureste. Esta fachada tiene un azimuth de 55° . Esta fachada es bastante menos extensa que la anteriormente estudiada, su longitud es de 19,8 metros y su altura es de 17,5 metros. La sistemática para disponer los paneles será idéntica que en la fachada sureste. En este caso, debido a la diferente orientación de la fachada, los paneles inclinados tendrán un ángulo óptimo de 26° .

La distancia mínima que establece la expresión (2) para evitar el sombreado originado por los paneles inclinados, en este caso será de 0,81 metros. En la siguiente figura se representa la distribución de los paneles por la fachada:

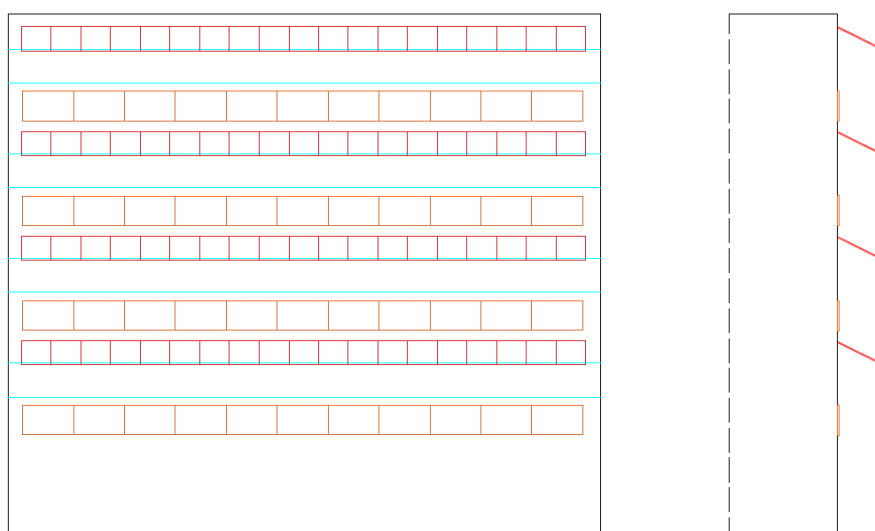


Figura 63: Vista frontal y de perfil de la disposición de los paneles en la fachada suroeste del edificio.

En rojo se indican los módulos dispuestos según el ángulo óptimo (26°), y en naranja se representan los módulos verticales. En total hay unos 76 módulos inclinados, lo que supone una potencia de pico de 26,66 kW; y unos 44 módulos verticales, que suman una potencia de pico de 15,18 kW.

Los 76 paneles inclinados se conectarán a un inversor modelo Fronius ECO de 27 kW. La conexión de los módulos se realizará formando 4 strings de 19 módulos cada uno:

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ paneles por ristra} * V_{oc} = 19 * 44,6 \text{ V} = 847,4 \text{ V} < V \text{ entrada límite inversor} = 1000 \text{ V}$$

$$I_{max} = N^{\circ} \text{ ristras} * I_{sc} = 4 * 9,61 = 38,44 < I \text{ entrada límite inversor} = 44,2 \text{ A}$$

Los 44 paneles verticales se conectarán a un inversor modelo modelo Fronius Symo de 17,5 kW. La conexión paralelo-serie de los módulos consistirá en 4 ristras de 11 módulos cada una:

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ paneles por ristra} * V_{oc} = 13 * 44,6 V = 579,8 V < V \text{ entrada límite inversor} = 1000 V$$

$$I_{max} = N^{\circ} \text{ ristras} * I_{sc} = 4 * 9.61 = 38,44 < I \text{ entrada límite inversor} = 40,5 A$$

De forma parecida al caso anterior, los módulos colocados en la fachada suroeste serán sombreados por el edificio ficticio que hay en el otro lado de la calle y por el propio muro que compone la fachada suroeste del edificio estudiado.

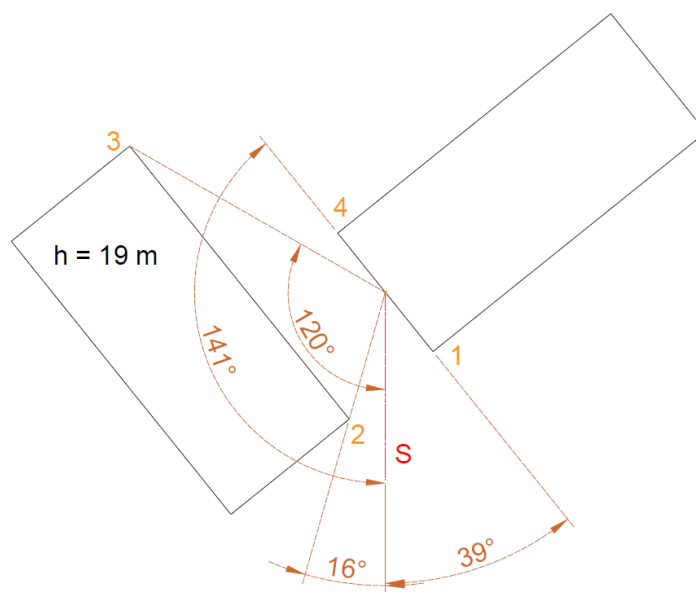


Figura 64: Esquema para el cálculo de sombras en la fachada suroeste.

Los puntos 1 y 4 representan el muro del edificio propuesto, y los puntos 2 y 3 indican el edificio que se encontraría al otro lado de la calle. Para el cálculo de la elevación o altura de los puntos se tomará como referencia el centro de la zona de la fachada donde se ubican los paneles, cuya altura respecto el suelo es de 10,3 metros. La elevación de los puntos 1 y 4 constituyen un caso límite, cuyo valor sería infinito. La elevación y el acimut de los puntos que definen el perfil de sombras se representan a continuación:

| Punto Geo. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|
| γ (Elevación) | ∞ | $26,67^{\circ}$ | $12,7^{\circ}$ | ∞ |
| α (Acimut) | -39° | 16° | 120° | 141° |

Tabla 51: Elevación y acimut del perfil de sombras en la fachada sureste.

En la siguiente figura se representan los puntos del perfil de sombras en el diagrama:

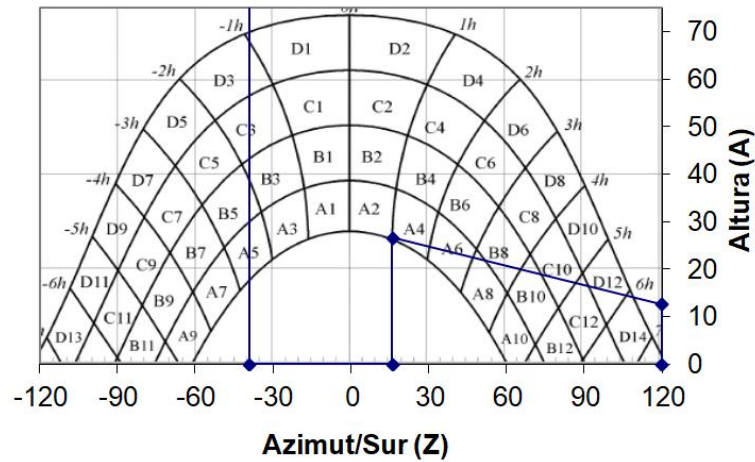


Figura 65: Representación de la sombra generada en la fachada suroeste.

Para el cálculo del índice de sombras habrá que sumar los coeficientes sombreados, considerando un 25%, un 50%, un 75% o un 100%, en función del grado de ocultación por parte del perfil. Los coeficientes dependen de la inclinación y de la orientación del panel.

El cálculo de las pérdidas por sombra será el siguiente:

$$P_{sombra} (\%) = 1 * A9 + 1 * A7 + 0,5 * A5 + 0,25 * A4 + 0,5 * A6 + 1 * A8 + 1 * A10 + 1 * B11 + 1 * B9 + 1 * B7 + 0,75 * B5 + 0,5 * B8 + 1 * B10 + 1 * B12 + 1 * C11 + 1 * C9 + 1 * C7 + 1 * C5 + 0,5 * C3 + 0,5 * C10 + 1 * C12 + 1 * D13 + 1 * D11 + 1 * D9 + 1 * D7 + 1 * D5 + 0,75 * D3 + 0,5 * D12 + 1 * D14$$

Se escogerán las tablas de coeficientes que más se adapten a la opción estudiada. Para los paneles inclinados 28°, los coeficientes a emplear son:

Tabla V-6

| $\beta = 35^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ | A | B | C | D |
|---|------|------|------|------|
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,14 |
| 11 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,16 |
| 9 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,02 |
| 7 | 0,02 | 0,13 | 0,31 | 1,02 |
| 5 | 0,64 | 0,68 | 0,97 | 2,39 |
| 3 | 1,55 | 1,24 | 1,59 | 3,70 |
| 1 | 2,35 | 1,74 | 2,12 | 4,73 |
| 2 | 2,85 | 2,05 | 2,38 | 5,40 |
| 4 | 2,86 | 2,14 | 2,37 | 5,53 |
| 6 | 2,24 | 2,00 | 2,27 | 5,25 |
| 8 | 1,51 | 1,61 | 1,81 | 4,49 |
| 10 | 0,23 | 0,94 | 1,20 | 3,18 |
| 12 | 0,00 | 0,09 | 0,52 | 1,96 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,55 |

Tabla 52: Coeficientes de las perdidas por sombra de para una orientación de 60° y para una inclinación de 35°.

Para los paneles verticales, los coeficientes correspondientes son:

Tabla V-7

| $\beta = 90^\circ$ $\alpha = 60^\circ$ | A | B | C | D |
|---|------|------|------|------|
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,43 |
| 11 | 0,00 | 0,01 | 0,27 | 0,78 |
| 9 | 0,09 | 0,21 | 0,33 | 0,76 |
| 7 | 0,21 | 0,18 | 0,27 | 0,70 |
| 5 | 0,10 | 0,11 | 0,21 | 0,52 |
| 3 | 0,45 | 0,03 | 0,05 | 0,25 |
| 1 | 1,73 | 0,80 | 0,62 | 0,55 |
| 2 | 2,91 | 1,56 | 1,42 | 2,26 |
| 4 | 3,59 | 2,13 | 1,97 | 3,60 |
| 6 | 3,35 | 2,43 | 2,37 | 4,45 |
| 8 | 2,67 | 2,35 | 2,28 | 4,65 |
| 10 | 0,47 | 1,64 | 1,82 | 3,95 |
| 12 | 0,00 | 0,19 | 0,97 | 2,93 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |

Tabla 53: Coeficientes de las pérdidas por sombra de para una orientación de 60° y para una inclinación de 90° .

Tras hacer los cálculos correspondientes con los diferentes coeficientes se tiene que las pérdidas por sombras en los paneles inclinados son de 17,8%, y para los paneles verticales es de 18,38%. Las pérdidas de los paneles inclinados, al ser superior a 15% quedarían fuera de los límites establecidos por el DB HE 5, por lo que haría falta alguna justificación para su empleo. Los paneles verticales, al estar integrados arquitectónicamente, tienen un valor límite por sombras de 20%.

En el siguiente cuadro se indican todas las pérdidas asociadas a cada una de las dos disposiciones en fachada, a excepción de las pérdidas de temperatura y por orientación que las calcula el programa PVGIS.

| | Paneles inclinados | Paneles verticales |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Pérdidas por cableado | 3% | 3% |
| Pérdidas por ensuciamiento | 4% | 2% |
| Pérdidas por dispersión de parámetros | 3% | 3% |
| Pérdidas en el inversor | 2% | 2% |
| Pérdidas por sombra | 17,80% | 18,38% |
| Total pérdidas | 29,80% | 28,38% |

Tabla 54: Pérdidas asociadas a las configuraciones en la fachada suroeste.

Del mismo modo que se hizo en la fachada sureste, al introducir los datos al programa PVGIS relativos a los paneles dispuestos de forma vertical se indicará que se tratan de elementos integrados al edificio, lo conllevará una reducción en la capacidad de refrigeración de los mismos.

La introducción de datos en PVGIS para los paneles inclinados se muestra en la siguiente figura:

Cursor:
Seleccionado: 38.006, -1.143
 Elevación (m): 41

Utilizar las sombras del terreno:
☒ Horizonte calculado
☐ Cargar archivo de horizonte

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED

Base de datos de radiación solar*: PVGIS-CMSAF
 Tecnología FV*: Silicio cristalino
 Potencia FV pico instalada [kWp]*: 26,66
 Pérdidas sistema [%]*: 26,8

Opciones de montaje fijo
 Posición de montaje*: Posición libre
☒ Optimizar inclinación
☐ Optimizar inclinación y azimut

Precio electricidad FV
 Coste sistema FV [su divisa]:
 Interés [%/año]:
 Vida útil [años]:

Visualizar resultados **Descargar csv**

Figura 66: Introducción de datos en el programa PVGIS para los paneles inclinados en la fachada suroeste.

Siendo los resultados obtenidos:

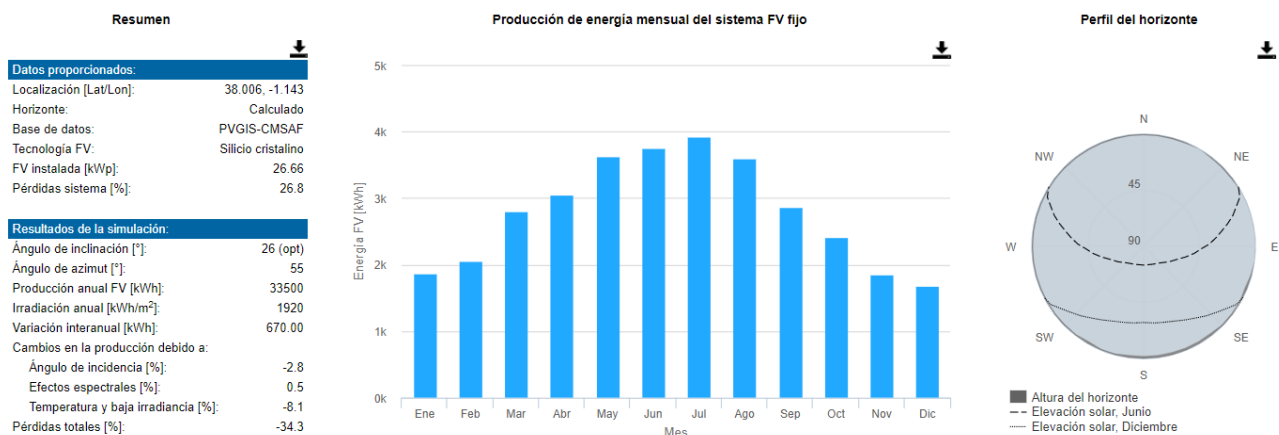


Figura 67: Resultados del programa PVGIS para los paneles inclinados en la fachada suroeste.

Si se consideran únicamente los días de laborales:

| Mes | Energía producida (kWh) |
|------------|-------------------------|
| Enero | 1.266,77 |
| Febrero | 1.471,43 |
| Marzo | 1.994,19 |
| Abril | 2.033,33 |
| Mayo | 2.576,13 |
| Junio | 2.632,00 |
| Julio | 3.042,58 |
| Agosto | 2.438,71 |
| Septiembre | 2.104,67 |
| Octubre | 1.788,06 |

| | |
|--------------|------------------|
| Noviembre | 1.240,00 |
| Diciembre | 1.035,81 |
| Total | 23.623,69 |

Tabla 55: Energía generada por los módulos inclinados en la fachada sureste.

A continuación se muestra la introducción de los datos en el programa PVGIS para la simulación de los módulos dispuestos verticalmente en la fachada suroeste:

Cursor:
Seleccionado: 38.006, -1.143
 Elevación (m): 41

Utilizar las sombras del terreno:
☒ Horizonte calculado
☐ Cargar archivo de horizonte

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED

Base de datos de radiación solar*: PVGIS-CMSAF
 Tecnología FV*: Silicio cristalino
 Potencia FV pico instalada [kWp]*: 15,18
 Pérdidas sistema [%]*: 28,38

Opciones de montaje fijo
 Posición de montaje*: Posición libre
 Inclinación [°]*: 90
 Azimut [°]*: 55
☐ Precio electricidad FV
 Coste sistema FV [su divisa]:
 Interés [%/año]:
 Vida útil [años]:

Visualizar resultados **Descargar csv**

Figura 67: Introducción de datos en el programa PVGIS para los paneles inclinados en la fachada suroeste.

Siendo los resultados obtenidos los siguientes:

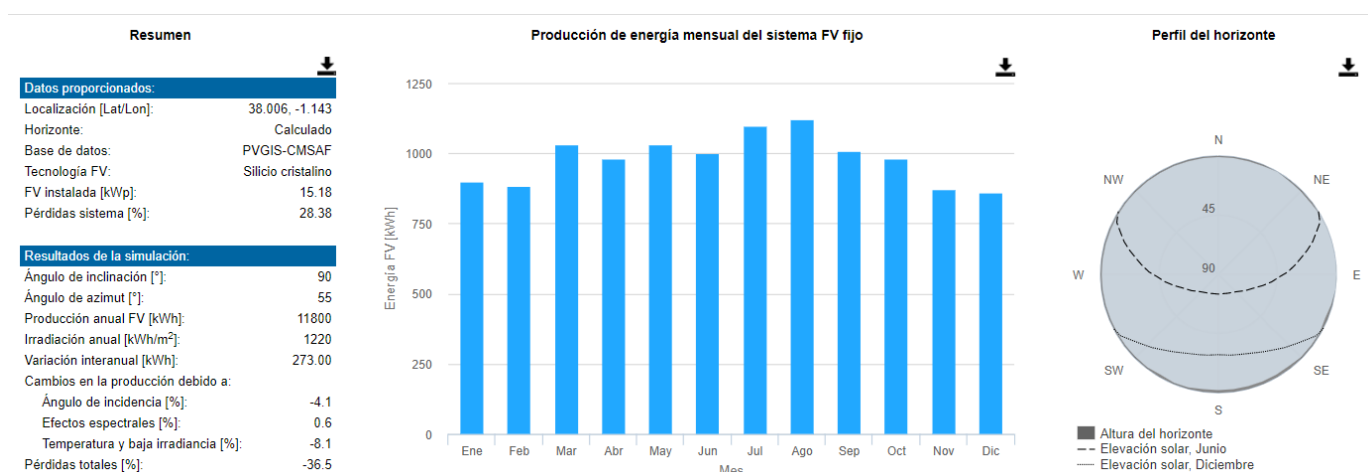


Figura 68: Resultados del programa PVGIS para los paneles verticales en la fachada suroeste.

La energía generada cada mes considerando solo los días de trabajo sería:

| Mes | Energía producida (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| Enero | 609,00 |
| Febrero | 630,71 |
| Marzo | 730,97 |
| Abril | 655,33 |
| Mayo | 730,97 |
| Junio | 700,00 |
| Julio | 851,61 |
| Agosto | 758,71 |
| Septiembre | 740,67 |
| Octubre | 727,10 |
| Noviembre | 582,00 |
| Diciembre | 528,32 |
| Total | 8.245,39 |

Tabla 56: Energía generada por los módulos verticales en la fachada suroeste.

Sumando la contribución total de los paneles, tanto inclinados como verticales, en la fachada suroeste, se obtiene la siguiente energía generada para autoconsumo del edificio:

| Mes | Energía producida (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| Enero | 1.875,77 |
| Febrero | 2.102,14 |
| Marzo | 2.725,16 |
| Abril | 2.688,67 |
| Mayo | 3.307,10 |
| Junio | 3.332,00 |
| Julio | 3.894,19 |
| Agosto | 3.197,42 |
| Septiembre | 2.845,33 |
| Octubre | 2.515,16 |
| Noviembre | 1.822,00 |
| Diciembre | 1.564,13 |
| Total | 31.869,08 |

Tabla 57: Energía generada total en la fachada suroeste.

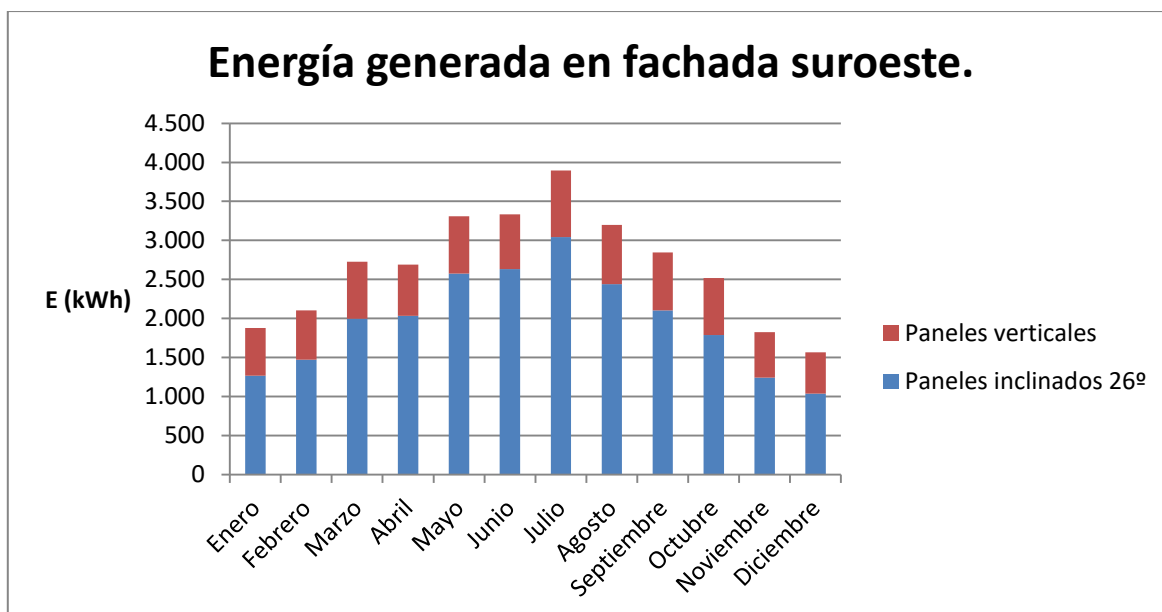


Figura 69: Energía generada total en la fachada suroeste.

6.5. Resumen y análisis de resultados.

Una vez que se han diseñado las instalaciones fotovoltaicas en la cubierta y en la fachada del edificio, y estimado la producción anual, se procederá a realizar un resumen de los datos para posteriormente analizarlos. Se realizaron dos propuestas sobre la disposición de los paneles en cubierta. Con la alternativa 1 se ha pretendido maximizar la producción de cada módulo colocándolo con la inclinación y orientación óptimas. Con la alternativa 2 el objetivo ha consistido en maximizar la producción total disponiendo la máxima cantidad de paneles de forma horizontal, de modo que no se producen sombras entre los módulos y se puede aprovechar más el espacio disponible en cubierta. En la siguiente se resumen los resultados obtenidos de ambas alternativas:

| | | Número de paneles | Potencia pico instalada (kWp) | Energía generada (kWh/año) | Ratio kWh/m ² de panel al año | % total de pérdidas |
|--------------------------------|--|-------------------|-------------------------------|----------------------------|--|---------------------|
| Cubierta | Alternativa 1: Ángulo óptimo (34°) | 192 | 66,24 | 76.847,36 | 236,83 | 20,50% |
| | Alternativa 2: Horizontal | 304 | 104,88 | 100.619,28 | 195,85 | 24,90% |
| Fachada sureste | Paneles inclinados ángulo óptimo (32°) | 180 | 62,1 | 59.427,05 | 195,36 | 32,60% |
| | Paneles verticales | 104 | 35,88 | 24.248,49 | 137,96 | 26,70% |
| Fachada suroeste | Paneles inclinados ángulo óptimo (26°) | 76 | 26,66 | 23.623,69 | 183,93 | 34,30% |
| | Paneles verticales | 44 | 15,18 | 8.245,39 | 110,88 | 36,50% |
| Total con alternativa 1 | | 596 | 206,06 | 192.391,99 | | |
| Total con alternativa 2 | | 708 | 244,7 | 216.163,90 | | |

Tabla 58: Resumen de resultados de todas las instalaciones fotovoltaicas.

Independientemente de la alternativa considerada, la instalación en cubierta constituye el mayor aporte energético para el autoconsumo del edificio. Con el ratio kWh/m² se pueden comparar el aprovechamiento del recurso solar de las distintas formas de disponer los paneles en el edificio. Como era de esperar, disponer los paneles en cubierta con una orientación e inclinación óptimas constituye la mejor forma de aprovechar el potencial del panel. Los módulos colocados en fachada y verticalmente obtienen los peores rendimientos, aunque no por ello debe ser una opción descartable, pues gracias a estas configuraciones se consigue aprovechar para la generación de energía superficies del edificio que de otra forma no aportarían rendimiento en este aspecto. El valor absoluto de la azimuth de la fachada sureste (35°) es menor que el que posee la fachada suroeste (55°), lo cual indica que la fachada sureste está más orientada al sur, lo que se traduce en un aumento del rendimiento de los paneles situados en esta cara del edificio. La orientación de las fachadas de un edificio que albergue instalaciones fotovoltaicas en las fachadas supone un aspecto de gran importancia y que debería ser estudiado en la fase de diseño. A su vez, la proyección de sombras también constituye una importante fuente de pérdidas, por lo que en un futuro escenario donde se generalice la construcción de edificio nZEB se deberán ejecutar planes de edificación que minimicen el sombreado entre las construcciones. La temperatura es otros de los aspectos que tiene una notable influencia en el factor de pérdidas de las instalaciones fotovoltaicas.

En las siguientes gráficas se puede observar la generación de cada uno de los diferentes sistemas fotovoltaicos instalados en el edificio:

- Considerando la alternativa en cubierta 1 (paneles con ángulo óptimo):

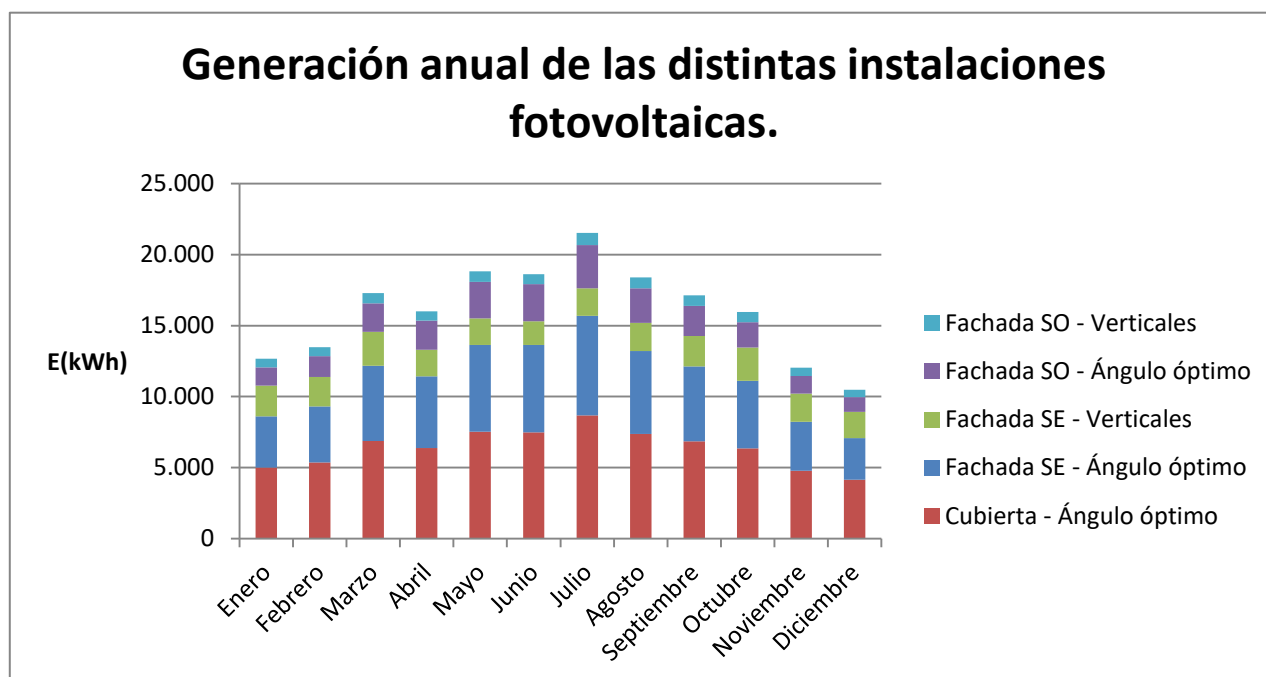


Figura 70: Generación anual de las distintas instalaciones fotovoltaicas, considerando en cubierta la alternativa 1 (ángulo óptimo).

- Considerando la alternativa en cubierta 2 (paneles horizontales):

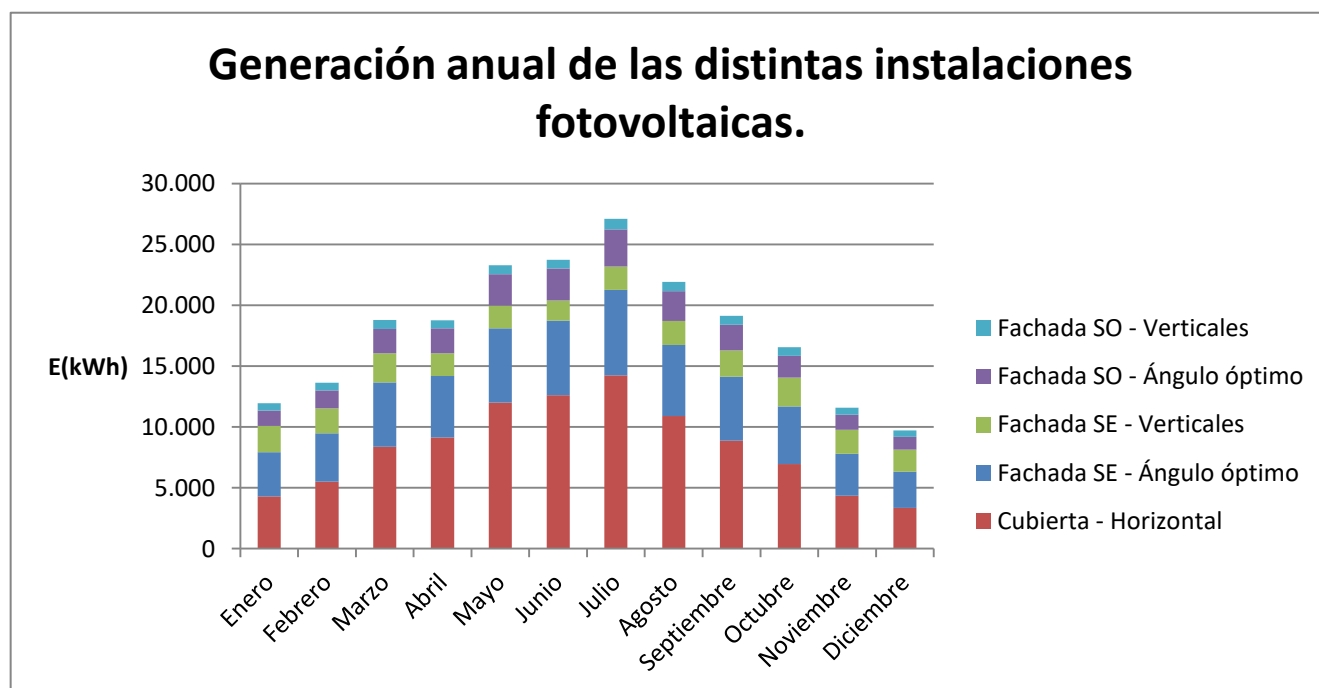


Figura 71: Generación anual de las distintas instalaciones fotovoltaicas, considerando en cubierta la alternativa 2 (horizontal).

6.6. Comparación de la producción fotovoltaica con el consumo del edificio.

Para poder apreciar realmente en qué medida la producción solar contribuye al consumo del edificio se comparará la generación y el consumo del edificio a lo largo de un día. Esta comparativa se realizará considerando ambas alternativas en cubierta.

Para el cálculo de la energía generada por los distintos sistemas se partirán de los valores de irradiancia (W/m^2) que ofrece el programa PVGIS para cada una de las horas de un día de un determinado mes. Para calcular la potencia se empleará la expresión (1) del apartado “6.1.1. Cálculo de la energía generada por el sistema”. Se emplearán los mismos criterios de pérdidas de los apartados anteriores, aunque en este caso se tendrán que calcular a parte las pérdidas por temperatura. Para estimar las pérdidas por sombras se empleará el programa SketchUp 2017, con el que se simularán las sombras que se proyectarán en el edificio a lo largo de un día de enero y un día de agosto. De esta manera se puede obtener la energía generada cada hora, en una estimación bastante exacta, a partir de la potencia instantánea media durante esa hora y el valor de irradiancia durante el mismo periodo horario. Las tablas con el cálculo detallado de la producción solar a lo largo de los días establecidos se pueden consultar en el anexo IV.

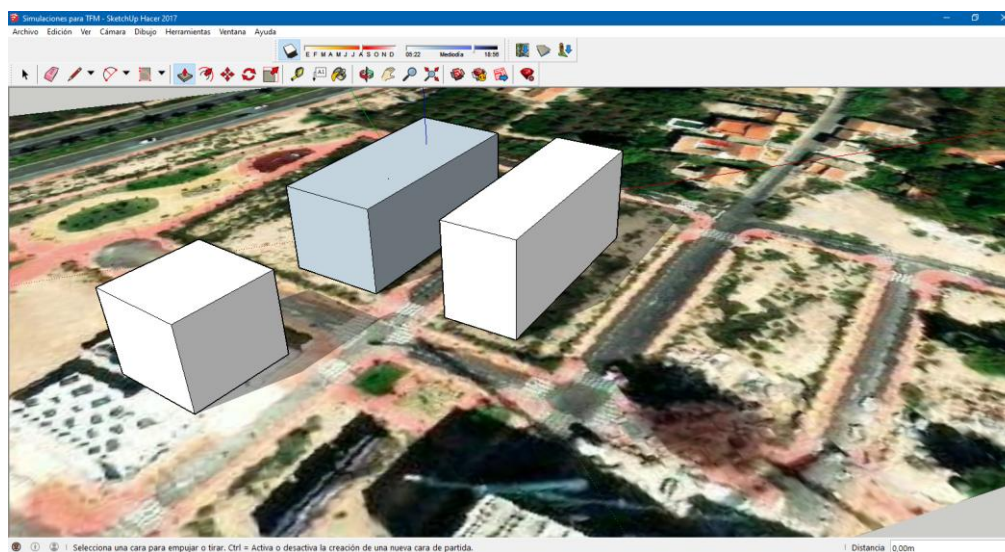


Figura 72: Captura de pantalla del programa SketchUp 2017.

Con la información del apartado “5. Definición del edificio propuesto para el estudio” se realizará una predicción del consumo realizado por el edificio en cada hora de los días definidos para el estudio. En el anexo V se puede consultar en detalle los consumos correspondientes de cada sección del edificio en cada hora de los días de estudio.

- Comparación Consumo – Generación para un día de enero:

- Comparativa considerando en cubierta la alternativa 1 (paneles con inclinación óptima):

| | Energía generada (kWh) | Energía consumida edificio (kWh) | Diferencia: Consumo edificio (kWh) menos Energía generada (kWh) |
|--------------|------------------------|----------------------------------|---|
| 0:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 1:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 2:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 3:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 4:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 5:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 6:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 7:00 | 0 | 77,00 | 77,00 |
| 8:00 | 14,38 | 96,73 | 82,35 |
| 9:00 | 36,25 | 96,97 | 60,71 |
| 10:00 | 61,06 | 96,47 | 35,40 |
| 11:00 | 86,69 | 96,22 | 9,53 |
| 12:00 | 101,29 | 96,09 | -5,19 |
| 13:00 | 97,12 | 95,97 | -1,15 |
| 14:00 | 78,21 | 95,48 | 17,27 |
| 15:00 | 51,58 | 95,60 | 44,02 |
| 16:00 | 21,81 | 96,09 | 74,28 |
| 17:00 | 1,71 | 96,22 | 94,51 |
| 18:00 | 0 | 92,21 | 92,21 |
| 19:00 | 0 | 71,87 | 71,87 |
| 20:00 | 0 | 55,03 | 55,03 |
| 21:00 | 0 | 9,01 | 9,01 |
| 22:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 23:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| TOTAL | 550,09 | 1343,61 | |

Tabla 59: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de enero, considerando la alternativa 1 en cubierta (ángulo óptimo).

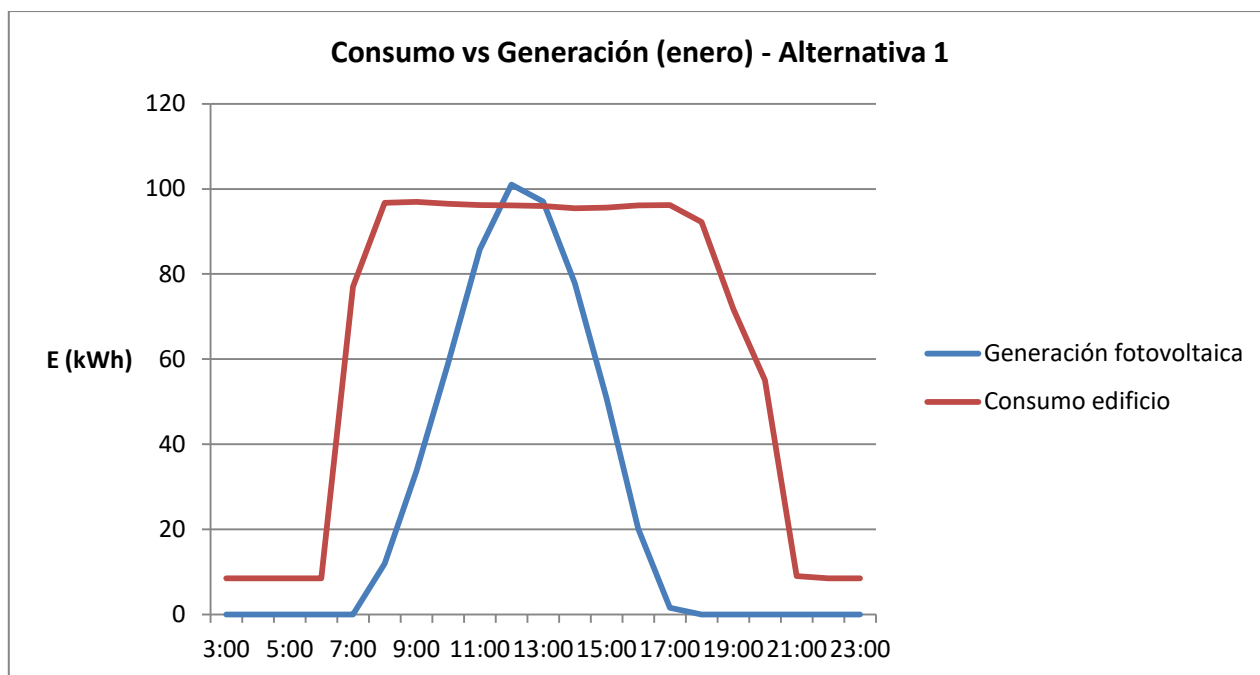


Figura 73: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de enero, considerando la alternativa 1 en cubierta (ángulo óptimo).

- Comparativa considerando en cubierta la alternativa 2 (paneles horizontales):

| | Energía generada (kWh) | Energía consumida edificio (kWh) | Diferencia: Consumo edificio (kWh) menos Energía generada (kWh) |
|-------|------------------------|----------------------------------|---|
| 0:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 1:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 2:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 3:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 4:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 5:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 6:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 7:00 | 0 | 77,00 | 77,00 |
| 8:00 | 11,92 | 96,73 | 84,80 |
| 9:00 | 33,60 | 96,97 | 63,37 |
| 10:00 | 59,00 | 96,47 | 37,47 |
| 11:00 | 85,73 | 96,22 | 10,49 |
| 12:00 | 100,99 | 96,09 | -4,90 |
| 13:00 | 97,02 | 95,97 | -1,06 |
| 14:00 | 77,87 | 95,48 | 17,61 |
| 15:00 | 50,85 | 95,60 | 44,75 |
| 16:00 | 20,17 | 96,09 | 75,92 |
| 17:00 | 1,59 | 96,22 | 94,63 |
| 18:00 | 0 | 92,21 | 92,21 |
| 19:00 | 0 | 71,87 | 71,87 |
| 20:00 | 0 | 55,03 | 55,03 |
| 21:00 | 0 | 9,01 | 9,01 |
| 22:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |

| | | | |
|--------------|---------------|----------------|------|
| 23:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| TOTAL | 538,74 | 1343,61 | |

Tabla 60: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de enero, considerando la alternativa 2 en cubierta (horizontal).

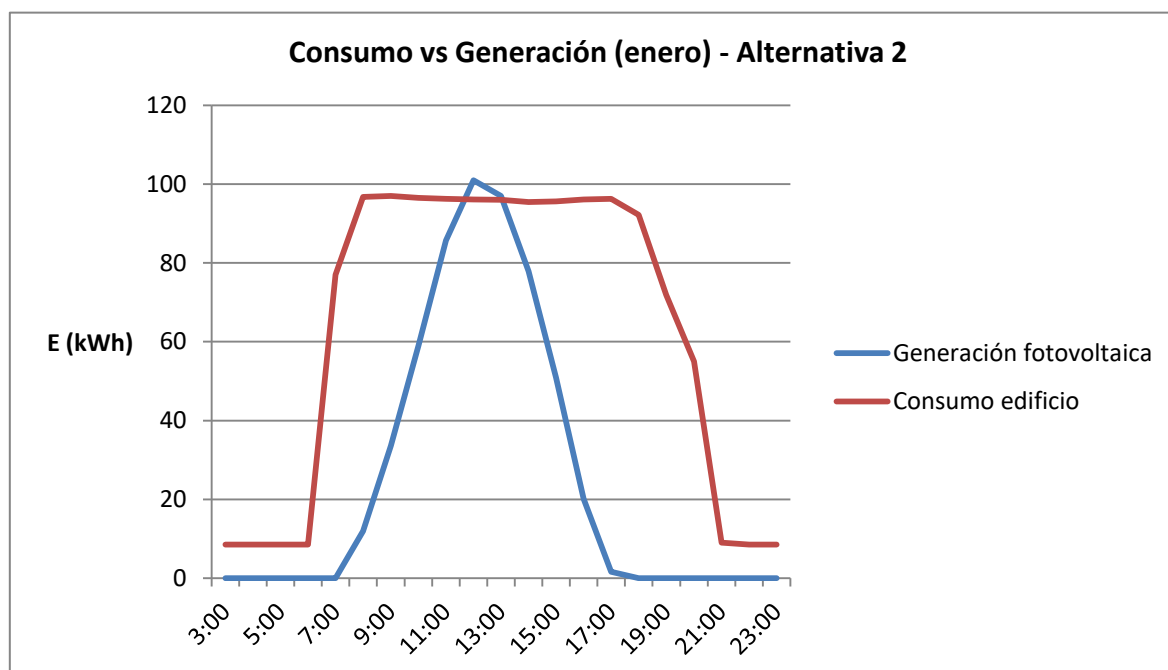


Figura 74: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de enero, considerando la alternativa 2 en cubierta (horizontal).

Se puede apreciar en ambos casos que el consumo es siempre superior a la generación. Únicamente la generación sobrepasa al consumo durante el periodo comprendido entre las 12:00 y las 14:00 del mediodía (señalado en rojo en la tabla), que se corresponde con el momento de mayor producción solar. Con la alternativa 1, la producción solar contribuye con 543,75 kWh, siendo un 40,46% del consumo diario, mientras que con la alternativa 2 la instalación aportará 532,78 kWh para el consumo del edificio, lo que supone un 39,65% del consumo total a lo largo del día. Con ambas alternativas se consigue un aporte similar al consumo del edificio, aunque cabe destacar que la alternativa 1 emplea menos paneles fotovoltaicos.

- Comparación Consumo – Generación para un día de agosto:

- Comparativa considerando en cubierta la alternativa 1 (paneles con inclinación óptima):

| | Energía generada (kWh) | Energía consumida edificio (kWh) | Diferencia: Consumo edificio (kWh) menos Energía generada (kWh) |
|------|------------------------|----------------------------------|---|
| 0:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 1:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |

| | | | |
|--------------|---------------|----------------|--------|
| 2:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 3:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 4:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 5:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 6:00 | 6,45 | 8,52 | 2,07 |
| 7:00 | 23,11 | 74,50 | 51,39 |
| 8:00 | 46,65 | 95,23 | 48,58 |
| 9:00 | 72,14 | 96,22 | 24,07 |
| 10:00 | 91,95 | 96,72 | 4,77 |
| 11:00 | 98,49 | 96,97 | -1,52 |
| 12:00 | 122,91 | 97,72 | -25,19 |
| 13:00 | 116,57 | 97,97 | -18,60 |
| 14:00 | 101,22 | 97,60 | -3,62 |
| 15:00 | 79,49 | 97,23 | 17,74 |
| 16:00 | 53,56 | 97,47 | 43,90 |
| 17:00 | 28,39 | 97,22 | 68,83 |
| 18:00 | 10,73 | 92,96 | 82,23 |
| 19:00 | 0,63 | 72,24 | 71,62 |
| 20:00 | 0 | 55,03 | 55,03 |
| 21:00 | 0 | 9,01 | 9,01 |
| 22:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 23:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| TOTAL | 852,28 | 1350,74 | |

Tabla 61: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de agosto, considerando la alternativa 1 en cubierta (ángulo óptimo).

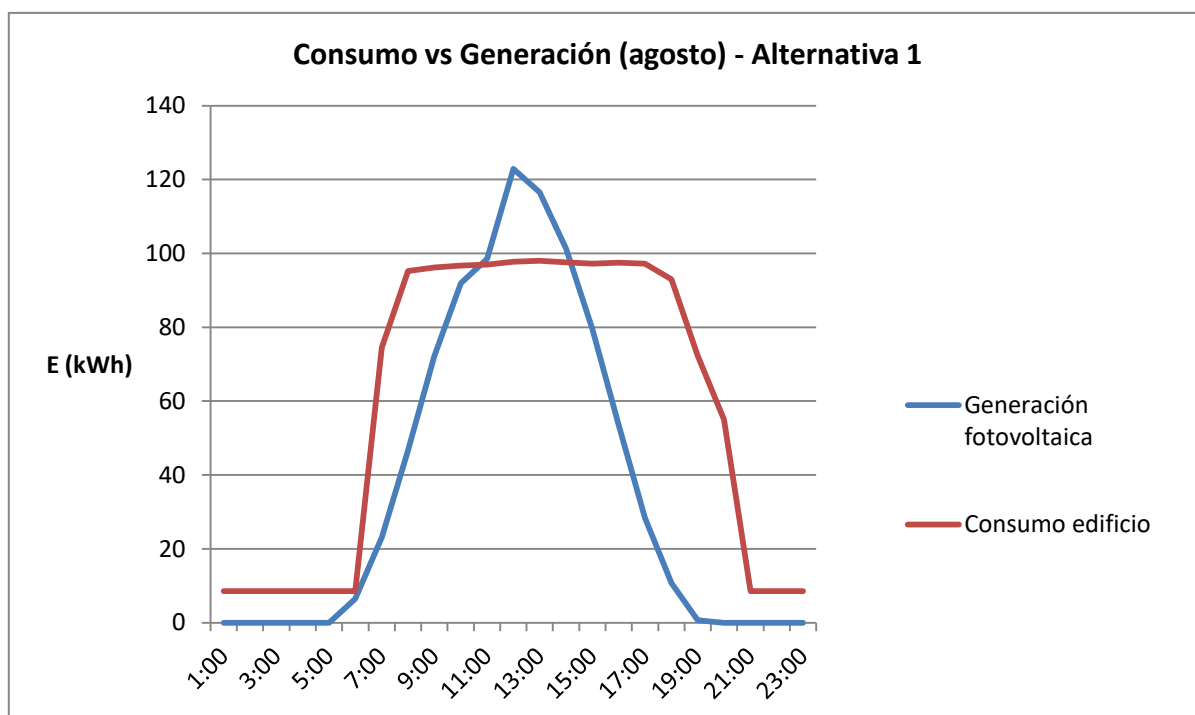


Figura 75: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de agosto, considerando la alternativa 1 en cubierta (ángulo óptimo).

- Comparativa considerando en cubierta la alternativa 2 (paneles horizontales):

| | Energía generada (kWh) | Energía consumida edificio (kWh) | Diferencia: Consumo edificio (kWh) menos Energía generada (kWh) |
|--------------|------------------------|----------------------------------|---|
| 0:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 1:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 2:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 3:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 4:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 5:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 6:00 | 9,79 | 8,52 | -1,27 |
| 7:00 | 30,23 | 74,50 | 44,27 |
| 8:00 | 57,74 | 95,23 | 37,48 |
| 9:00 | 86,38 | 96,22 | 9,83 |
| 10:00 | 108,81 | 96,72 | -12,10 |
| 11:00 | 117,35 | 96,97 | -20,39 |
| 12:00 | 142,63 | 97,72 | -44,91 |
| 13:00 | 136,22 | 97,97 | -38,26 |
| 14:00 | 119,99 | 97,60 | -22,39 |
| 15:00 | 96,42 | 97,23 | 0,81 |
| 16:00 | 67,72 | 97,47 | 29,75 |
| 17:00 | 39,73 | 97,22 | 57,48 |
| 18:00 | 16,79 | 92,96 | 76,16 |
| 19:00 | 0,86 | 72,24 | 71,38 |
| 20:00 | 0 | 55,03 | 55,03 |
| 21:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 22:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| 23:00 | 0 | 8,52 | 8,52 |
| TOTAL | 1030,69 | 1350,74 | |

Tabla 62: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de agosto, considerando la alternativa 2 en cubierta (horizontal).

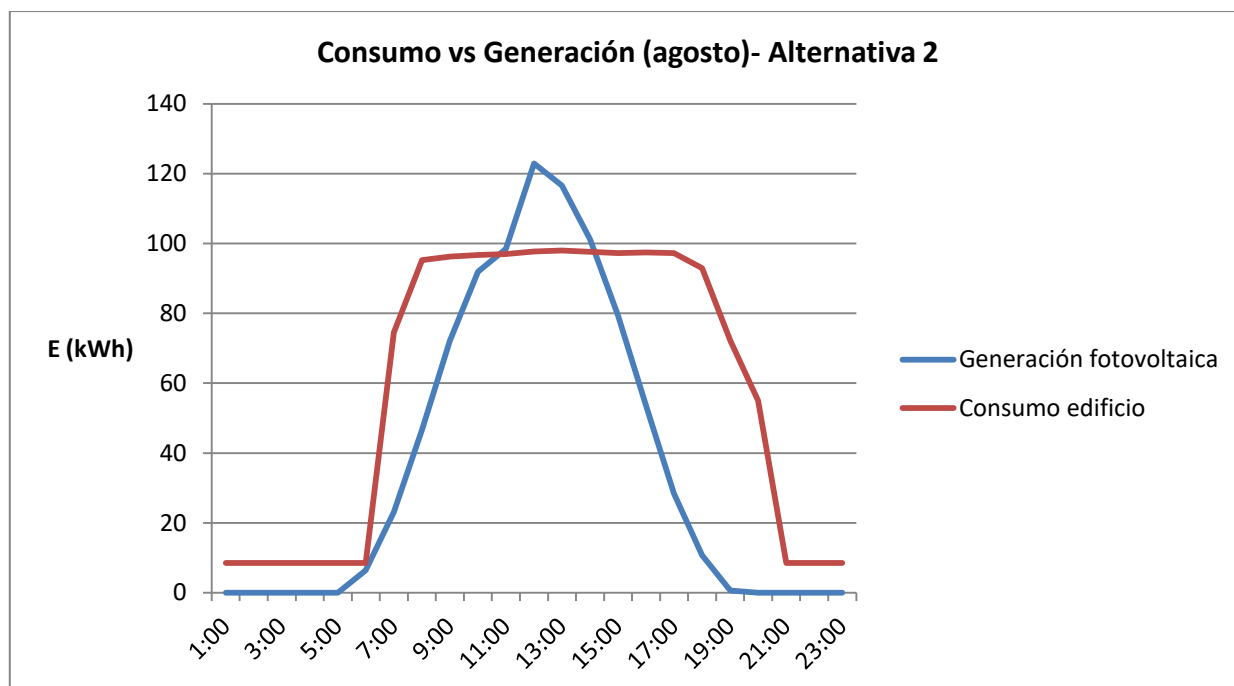


Figura 76: Comparación entre la energía consumida y la energía generada cada hora para un día de agosto, considerando la alternativa 2 en cubierta (horizontal).

En verano al aumentar la producción y permanecer el consumo prácticamente igual que en invierno, la generación supera al consumo durante más momentos del día. Con la alternativa 1, se consigue un autoconsumo para las necesidades del edificio de 803,35 kWh, lo que representa una cuota del 59,47% respecto el total diario. Si se realiza el estudio con la alternativa 2, la instalación fotovoltaica aportará 891,37 kWh del consumo, lo que supone un 65,99 kWh del total. En los meses de más radiación solar se aprecia que hay un importante excedente de producción en la franja del mediodía, concretamente de 48,93 kWh para el caso del la alternativa 1, y de 139,32 kWh para la alternativa 2.

6.6.1. El vehículo eléctrico en los edificios nZEB: Consumidor y acumulador.

El exceso de energía durante las horas centrales del día no debe suponer una pérdida de eficiencia del sistema. En el periodo de transición energética actual es de esperar la proliferación de vehículos eléctricos, por lo que los puntos de recarga se extenderán por todo el territorio nacional, siendo los lugares de trabajo un lugar de interesante implementación. En el caso de la alternativa de máxima producción (alternativa 2), desde las 10:00 hasta las 15:00 horas se obtiene un exceso de producción de 138,15 kWh, que equivale a la capacidad completa de cinco baterías de un coche eléctrico de una autonomía media respecto los que hay en el mercado actualmente. Además este periodo coincide con uno de los dos picos del consumo energético total del país.

Otro aspecto interesante que está cobrando cada vez más relevancia consiste en sistemas de recarga que permitan extraer energía de la batería de vehículo para cederla al edificio mediante cargadores bidireccionales. Esta medida permitiría utilizar las baterías de los coches como acumuladores de energía, con la capacidad de verter la electricidad de la batería al edificio, lo cual ayuda a la gestionabilidad de fuentes de energía cuyo recurso es difícil de controlar, como pueden ser la fotovoltaica o la eólica. En los periodos de valle de la curva de demanda, muchas veces existe una disponibilidad elevada de recursos energéticos, si no existe una posibilidad de almacenamiento energético, este excedente no será aprovechado en momentos donde la demanda sea mayor.

Sobre esta tecnología, que se encuentra en estado incipiente actualmente, están trabajando intensamente la agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE) de Chile, Nissan y Enel X. Nissan ha desarrollado un sistema llamado V2G (Vehicle to Grid) que se basa en la carga bidireccional de vehículos eléctricos [31,32]. Mitsubishi es otra compañía que se está adentrando en este tema mediante el sistema Dendo Drive House (DDH) que está orientado al uso doméstico. Una implementación a gran escala de estos sistemas supondría un gran avance en eficiencia energética. La función de amortiguador del sistema eléctrico que ejercen estos cargadores bidireccionales, aportaría una gran estabilidad, que sería de gran utilidad en un contexto donde existe elevado uso de fuentes de energía renovables cuyos recursos son difíciles de controlar [33]. La aplicación de este sistema en el edificio estudiado permitiría que la totalidad de la energía generada por los sistemas fotovoltaicos se aprovechara para el autoconsumo.

7. Análisis económico y medioambiental.

7.1. Rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas.

Con el análisis de rentabilidad se pretende cuantificar económicamente el ahorro que supone instalar un sistema fotovoltaico en el edificio para el autoconsumo. Una instalación fotovoltaica supone una inversión inicial, pero que a lo largo del tiempo se logra amortizar.

El análisis de rentabilidad se basará en la determinación del beneficio acumulado actualizado obtenido en un determinado tiempo, que se establecerá en 25 años. Cada año se obtiene un balance o cash flow, que se trata de la diferencia entre la entrada y la salida de capital. El resultado de dicho balance se irá acumulando cada año, que se actualizará según la variación anual del IPC. Para adoptar una postura conservadora, se considerará una variación anual del IPC del 1,5%. Cuando el beneficio acumulado actualizado sea positivo se habrá recuperado la inversión inicial del sistema fotovoltaico. La inflación energética se considerará en un 2,5%.

La entrada de capital estará definida por el ahorro que se produce al obtener energía por medio de la instalación fotovoltaica en vez de tener que ser comprada de la red. El precio del kWh, que definirá el ahorro del sistema, se definirá tras la revisión de la facturación energética de la escuela durante el año 2017. Habrá que considerar únicamente el término de energía, ya que el término de potencia se seguirá manteniendo igual. De la facturación se deduce que el precio de la energía fue de 0,08234 euros/kWh y el impuesto eléctrico del 5,87%. Habrá que tener en cuenta que debido al desgaste de los módulos fotovoltaicos, la producción irá reduciendo cada año, y por lo tanto, el ahorro obtenido también será cada vez menor. Se asumirá que durante los 25 años considerados para el análisis, los módulos perderán un 20% de la capacidad de producción de forma lineal.

En la siguiente tabla se resumen los parámetros que definirán el escenario sobre el que se va a realizar el análisis económico:

| | |
|---|-------------------|
| Periodo de tiempo considerado en el análisis | 25 años |
| Variación anual IPC | 1,5% |
| Inflación energética | 2,5% |
| Precio del término de energía | 0,08234 euros/kWh |
| Impuesto eléctrico | 5,87 |
| Pérdida de capacidad de producción del panel tras 25 años | 20% |

Tabla 63: Parámetros considerados para el análisis económico.

La salida de capital estará definida por la inversión inicial y por los costes de mantenimiento que garanticen el correcto funcionamiento del sistema. La inversión inicial comprende el coste de los componentes de la instalación y los costes de mano de obra para el montaje.

Con la información que hay disponible en la web, se han obtenido los siguientes precios de los componentes de la instalación:

- Módulo CS1H 345MS de la marca Canadian Solar: 155 euros/unidad.
- Inversor modelo Fronius Symo de 17,5 kW: 2912,05 euros/unidad.
- Inversor modelo Fronius Symo de 20 kW: 3166,34 euros/unidad.
- Inversor modelo Fronius ECO de 25 kW: 3236,57 euros/unidad.

- Inversor modelo Fronius ECO de 27 kW: 3268,79 euros/unidad.
- Estructura panel horizontal en suelo: 62,99 euros/unidad.
- Estructura panel inclinada en suelo: 85,80 euros/unidad.
- Estructura panel inclinado en fachada: 144,22 euros/unidad.
- Estructura panel vertical en fachada: 90,45 euros/unidad.

Todos los precios se han obtenido de la web: autosolar.es, excepto el panel, cuyo precio se ha consultado en webosolar.com.

La mano de obra de colocar un panel en cubierta se estima en 15 euros, y en fachada 30 euros. La instalación del inversor se considera en 20 euros.

La instalación eléctrica compuesta por el cableado y los elementos de protección (con mano de obra incluida) se considerarán como un incremento del 5% del coste material y de mano de obra de los paneles con las estructuras y los inversores.

Finalmente, sobre el total se considerará un incremento del 13% en concepto de gastos generales y un 7% en concepto de beneficio industrial.

Los costes de mantenimiento anual se estiman como un 1% de la inversión inicial.

Se realizará un estudio para cada uno de los distintos sistemas del edificio, y finalmente se realizará un análisis global del conjunto, para cada una de las alternativas en cubierta. Se considerará que toda la energía producida por los sistemas fotovoltaicos produce ahorro.

- Cubierta: Alternativa 1 – Paneles inclinados.

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Paneles monocristalinos 345W | 192 Ud |
| Estructuras panel inclinado en suelo | 192 Ud |
| Inversores 25 kW | 3 Ud |

Inversión inicial: 68647,77 euros.

Ahorro acumulado actualizado en 25 años: 74466,23 euros.

Periodo retorno de la inversión: 11 años.

- Cubierta: Alternativa 2 – Paneles horizontales.

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Paneles monocristalinos 345W | 304 Ud |
| Estructuras panel horizontal en suelo | 304 Ud |
| Inversores 27 kW | 4 Ud |

Inversión inicial: 105816,01 euros.

Ahorro acumulado actualizado en 25 años: 90407,96 euros.

Periodo retorno de la inversión: 12 años.

- Fachada sureste: Paneles inclinados.

| | |
|------------------------------------|--------|
| Paneles monocristalinos 345W | 180 Ud |
| Estructura panel inclinado fachada | 180 Ud |
| Inversores 20 kW | 3 Ud |

Inversión inicial: 86710,17 euros.

Ahorro acumulado actualizado en 25 años: 33591,6 euros.

Periodo retorno de la inversión: 17 años.

- Fachada sureste: Paneles verticales.

| | |
|-----------------------------------|--------|
| Paneles monocristalinos 345W | 104 Ud |
| Estructura panel vertical fachada | 104 Ud |
| Inversores 17,5 kW | 2 Ud |

Inversión inicial: 44123,68 euros.

Ahorro acumulado actualizado en 25 años: 6554,76 euros.

Periodo retorno de la inversión: 21 años.

- Fachada suroeste: Paneles inclinados.

| | |
|------------------------------------|-------|
| Paneles monocristalinos 345W | 76 Ud |
| Estructura panel inclinado fachada | 76 Ud |
| Inversor 27 kW | 1 Ud |

Inversión inicial: 35668.98 euros.

Ahorro acumulado actualizado en 25 años: 12371,58 euros.

Periodo retorno de la inversión: 18 años.

- Fachada suroeste: Paneles verticales.

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Paneles monocristalinos 345W | 44 Ud |
| Estructura panel vertical fachada | 44 Ud |
| Inversores 17,5 kW | 1 Ud |

Inversión inicial: 35668.98 euros.

Ahorro acumulado actualizado en 25 años: -1273,36 euros.

Periodo retorno de la inversión: 28 años.

En la siguiente tabla se resume los resultados todas las instalaciones anteriores:

| | Inversión inicial (euros) | Ahorro acumulado actualizado a 25 años (euros) | Periodo retorno inversión (años) |
|---|------------------------------|---|-------------------------------------|
| Cubierta alternativa 1: Paneles inclinados | 74.192,97 | 74.466,23 | 11 |
| Cubierta alternativa 2: Paneles horizontales | 105.816,01 | 90.407,96 | 12 |
| Fachada sureste: Paneles inclinados | 86.710,18 | 33.591,60 | 17 |
| Fachada sureste: Paneles verticales | 44.123,69 | 6.554,76 | 21 |
| Fachada suroeste: Paneles inclinados | 35.668,99 | 12.371,58 | 18 |
| Fachada suroeste: Paneles verticales | 19.285,31 | -1.273,36 | 28 |

Tabla 64: Resumen de los análisis de rentabilidad de las distintas instalaciones del edificio.

Se aprecia que en cubierta los periodos de retorno de inversión se sitúan alrededor de 12 años. En fachada este periodo se incrementa, especialmente en las disposiciones verticales. Desde el punto de puramente vista económico, únicamente las instalaciones en fachada pueden resultar de interés. Cabe mencionar que las instalaciones fotovoltaicas en fachada, aparte de generar corriente, también aportan de forma pasiva un ahorro energético al edificio. Los paneles inclinados protegen a las ventanas de la radiación solar, mientras que los paneles verticales contribuyen al aislamiento del edificio.

Finalmente, se realizará un análisis económico de la instalación completa, considerando las dos alternativas en cubierta:

| | Inversión inicial (euros) | Ahorro acumulado actualizado a 25 años (euros) | Periodo retorno inversión (años) |
|--|---------------------------|--|----------------------------------|
| Instalación completa (con alternativa 1 en cubierta) | 259.981,13 | 125.709,12 | 16 |
| Instalación completa (con alternativa 2 en cubierta) | 291.604,17 | 141.650,83 | 16 |

Tabla 65: Resultados de rentabilidad de la instalación completa, considerando las dos alternativas.

Al considerar todas las instalaciones, se obtienen unos resultados de rentabilidad similares. Debido a la importante reducción de la inversión inicial que supone la alternativa 1, desde un punto de vista económico se opte por esta solución, debido a que con una inversión inicial de 31623,04 euros más que supone la configuración de paneles horizontales respecto los inclinados, tras 25 años solo se obtiene un incremento en el ahorro de 15941,71 euros.

7.2. Emisiones de contaminantes evitadas.

El principal atractivo de las energías renovables es la preservación del medio ambiente, por ello uno de los objetivos de la instalación fotovoltaica propuesta consiste en reducir la cantidad de contaminantes emitidos para generar electricidad.

Para estimar cuantitativamente las emisiones de contaminantes evitadas se emplearán los datos ofrecidos por el Observatorio de la Electricidad del año 2016 realizado por WWF a partir de información de REE. Según este informe las emisiones de distintos contaminantes por cada kWh producido es:

Dióxido de carbono (CO₂): 0,174 kg/kWh

Dióxido de azufre (SO₂): 0,366 g/kWh

Óxidos de nitrógeno (NO_x): 0,261 g/kWh

Residuos radiactivos de baja y media actividad: 0,0024 cm³/kWh

Residuos radiactivos de alta actividad: 0,293 mg/kWh

Considerando la producción total de la instalación, considerando ambas alternativas en cubierta, a lo largo de 25 años, se obtienen los siguientes resultados acerca de las emisiones de contaminantes evitadas:

| | Instalación con alternativa 1 en cubierta | Instalación con alternativa 2 en cubierta |
|---|---|---|
| kg de Dióxido de carbono (CO ₂) | 788.666,20 | 886.113,61 |
| g de Dióxido de azufre (SO ₂) | 1.658.918,56 | 1.863.894,15 |
| g de Óxidos de nitrógeno (NO _x) | 1.182.999,30 | 1.329.170,42 |
| cm ³ de Residuos radiactivos de baja y media actividad | 10.878,15 | 12.222,26 |
| mg de Residuos radiactivos de alta actividad | 1.328.041,36 | 1.492.133,84 |

Tabla 66: Emisiones de contaminante evitadas por la generación a lo largo de 25 años mediante cada alternativa.

Para ser más rigurosos en este aspecto se debería realizar un análisis de ciclo de vida completo de esta tecnología. Especialmente habría que entrar en el estudio de la fabricación de los módulos de silicio, donde se necesitan unas grandes cantidades de energía.

8. Conclusiones.

Tras el desarrollo del presente trabajo fin de máster se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Para conseguir un edificio de consumo energético casi nulo es necesario el cumplimiento de varias condiciones. El edificio debe favorecer un uso eficiente de la energía y disponer de fuentes de energía renovables para abastecer el consumo.
2. El empleo de sistemas de bomba de calor combinados con un recuperador de calor suponen una excelente solución para la climatización de un edificio ubicado en la zona mediterránea, debido a su elevada eficiencia desde el punto de vista energético y al reducido espacio que necesita para su instalación.
3. Existen multitud de factores de diseño que contribuyen a la eficiencia energética, como pueden ser emplear equipos de oficina de bajo consumo o el uso de una iluminación con funcionamiento mediante detector de presencia o con una intensidad adaptada para cada

situación. Cabe destacar la gran parte del consumo que es destinado al equipamiento de oficina, y en menor medida, aunque también importante, a la iluminación.

4. Concienciar a los usuarios del edificio es fundamental para el ahorro energético. Apagar los ordenadores en vez de dejarlos en stand-by, usar las escaleras o regular la temperatura del interior dentro de los intervalos establecidos por el IDAE, son actuaciones que a lo largo del año reducen considerablemente el consumo en un edificio.
5. Las instalaciones fotovoltaicas son una opción prácticamente imprescindible para establecer un edificio con un alto grado de independencia de la red eléctrica. Una instalación fotovoltaica bien diseñada puede llegar a alcanzar con facilidad un aporte al consumo total del edificio de al menos dos quintas partes. Además, las instalaciones fotovoltaicas en fachada tienen unos efectos pasivos encaminados al ahorro energético del edificio.
6. Si se tiene previsto instalar un sistema fotovoltaico en un edificio proyectado, este aspecto debe ser contemplado en la fase de diseño. Los aspectos que producen más pérdidas en los sistemas fotovoltaicos dispuestos en las fachadas de los edificios son la orientación y las sombras, lo cual debe ser analizado para minimizar sus efectos negativos en la mayor medida posible. Aunque con las distribuciones urbanísticas actuales se obtienen resultados bastante aceptables, en un futuro donde se extienda las instalaciones fotovoltaicas en edificios, se deberían adaptar las ubicaciones de las nuevas construcciones de forma que se favorezca la producción solar. La distribución de elementos por cubierta también cobra una gran importancia para conseguir un buen rendimiento de los módulos que se dispongan en estas zonas.
7. Una inteligente implementación del vehículo eléctrico puede favorecer el empleo de las energías renovables en los edificios. Con la posibilidad de que puedan ceder energía de sus baterías se pueden aprovechar las grandes producciones de energía fotovoltaica de las horas centrales del día.
8. La rentabilidad económica de las instalaciones en cubierta puede llegar a ser atractiva, aunque en fachada se reduce bastante, llegando a periodos de retorno demasiado largos. También hay que tener en cuenta las ventajas pasivas que ofrecen este tipo de instalaciones.

9. En un futuro preocupante por la evolución del cambio climático, minimizar las emisiones de contaminantes es fundamental. Las instalaciones fotovoltaicas constituyen una gran opción para evitar este tipo de vertidos.
10. Las instalaciones fotovoltaicas con módulos de silicio suponen unas de las principales alternativas para afrontar el reto del edificio de consumo casi nulo, pero existen otras posibilidades que pueden resultar interesantes, como pueden ser el empleo de módulos fotovoltaicos orgánicos o de capa fina. También existen otras tecnologías que pueden tener una interesante aplicación, como puede ser la eólica o la geotermia. La combinación de estas tecnologías puede acercar bastante al concepto de conseguir un edificio 100% independiente energéticamente.

Cuantitativamente, se han obtenido los siguientes resultados en el caso de estudio:

11. Se ha establecido un estudio detallado de la demanda energética para un edificio de oficinas 5422,02 m² sobre rasante, situado en la ciudad de Murcia. El resultado de demanda anual de energía es: 339797,26 kWh, lo que supone en términos unitarios de superficie 62,67 kWh/m² al año.
12. El reparto entre los distintos tipos de consumo a lo largo del año es: climatización 15,32 %, ventilación oficinas 11,89%, ACS 0,83%, iluminación 21,35%, equipos 41,9%, extracción aseos 0,54%, extracción garajes 5,44% y ascensores 2,73%.
13. Se han analizado alternativas de instalación de sistemas fotovoltaicos en el edificio. El resultado indica que la alternativa que genera más energía, teniendo en cuenta la limitación de espacio es disponer los paneles en cubierta de forma horizontal, maximizando la cantidad que se puede colocar sin que se generen sombras entre ellos; y en las fachadas sureste y suroeste se disponen paneles inclinados y verticales, que genera un total de 216163,9 kWh anuales.
14. Esta opción permite cubrir el 63,61% de la demanda anual de energía del edificio considerando un balance energético neto, lo que confiere un elevado nivel de capacidad de autoconsumo al edificio.

9. Bibliografía.

- [1] https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml (consultado el 02/05/2019).
- [2] <https://www.muyinteresante.es/cultura/arte-cultura/articulo/ique-es-el-protocolo-de-kioto> (consultado el 02/05/2019).
- [3] https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es (consultado el 02/05/2019).
- [4] <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf> (consultado el 04/05/2019).
- [5] <https://www.boe.es/doue/2016/208/L00046-00057.pdf> (consultado el 04/05/2019).
- [6] <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/calificacion-energetica-de-edificios> (consultado el 29/04/2019).
- [7] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-9511> (consultado el 05/05/2019).
- [8] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-6350> (consultado el 05/05/2019).
- [9] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-7163 (consultado el 05/05/2019).
- [10] Libro de comunicaciones y proyectos del “IV Congreso EECN” celebrado diciembre de 2017 en Madrid.
- [11] <https://www.laminotech.com/laminas-de-control-solar/#> (consultado el 08/05/2019).
- [12] <https://www.extrugasa.com/arquitectura/sistema-fijo-regulable/> (consultado el 08/05/2019).
- [13] Artículo: “Optimal design of photovoltaic shading systems for multi-story buildings”. Autores: Xue Li, Jinqing Peng, Nianping Li, Yupeng Wu, Yueping Fang, Tao Li, Meng Wang, Chunlei Wang.
- [14] Artículo: “Energy optimization of high-rise commercial buildings integrated with photovoltaic facades in urban context”. Autores: Xi Chen, Hongxing Yang, Jinqing Peng.
- [15] Artículo: “Transformation of a University Lecture Hall in Valladolid (Spain) into a NZEB: LCA of a BIPV System Integrated in Its Façade”. Autores: Gloria Y. Palacios-Jaimes, Pablo Martín-Ramos, Francisco J. Rey-Martínez, Ignacio A. Fernández-Coppel.
- [16] Artículo: “Energy Saving Assessment of Semi-Transparent Photovoltaic Modules Integrated into NZEB”. Autores: Cristina Cornaro, Giulia Basciano, Valerio Adoo Puggioni, Marco Pierro.

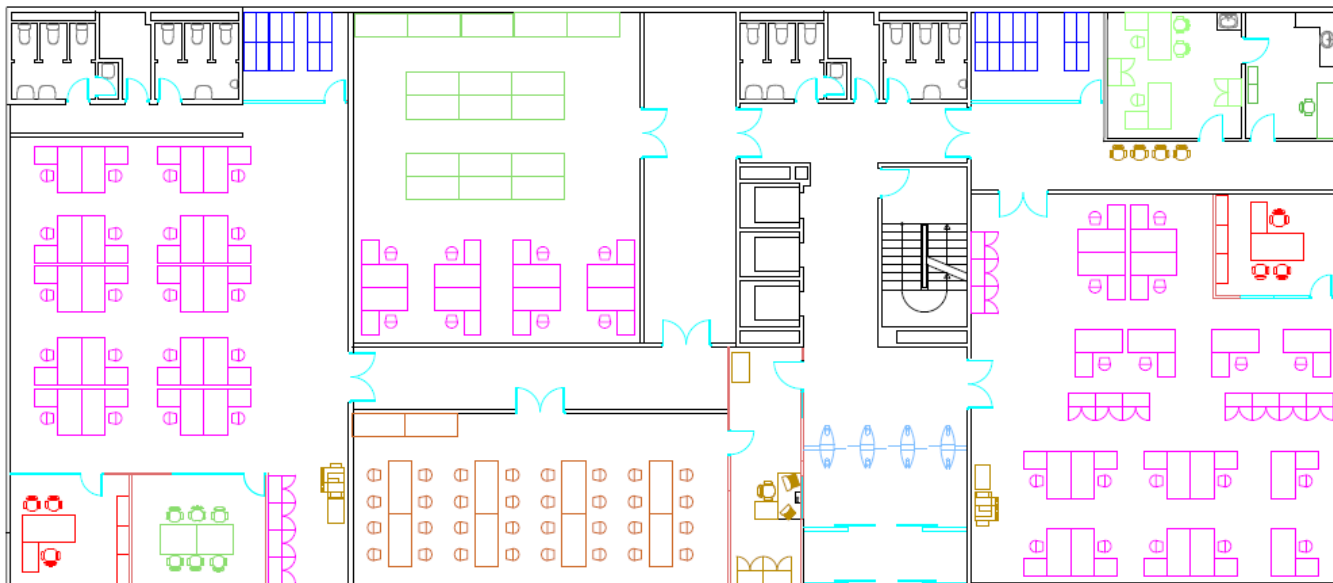
- [17] Artículo: "Using electrical energy storage in residential buildings – Sizing of battery and photovoltaic panels based on electricity cost optimization". Autores: Juha Koskela, Antti Rautiainen, Pertti Järventausta.
- [18] Artículo: "A simulation approach to sizing batteries for integration with net-zero energy residential buildings". Autores: Karl Heine, Amogh Thatte, Paulo Cesar Tabares-Velasco.
- [19] Artículo: "Experimental performance characterisation of a Hybrid Photovoltaic/Solar Thermal Façade module compared to a flat Integrated Collector Storage Solar Water Heater module". Autores: M. Smyth, A. Pugsley, G. Hanna, A. Zacharopoulos, J. Mondol, A. Besheer, A. Savvides.
- [20] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089 (consultado el 13/05/2019).
- [21] <https://www.idae.es/publicaciones/guia-de-tramitacion-del-autoconsumo-version-preliminar> (consultado el 13/05/2019).
- [22] <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/9717113/02/19/Ribera-asegura-que-no-vetara-la-venta-de-vehiculos-de-combustion-en-2040.html> (consultado el 13/05/2019).
- [23] <https://www.boe.es/boe/dias/2014/12/31/pdfs/BOE-A-2014-13681.pdf> (consultado el 14/05/2019).
- [24] <https://endesavehiculoelectrico.com/para-el-mundo/> (consultado el 14/05/2019).
- [25] Artículo: "Batteries for electric road vehicles". Autores: John B Goodenough, M. Helena Braga.
- [26] Artículo: "Nano energy system model and nanoscale effect of graphene battery in renewable energy electric vehicle". Autores: Yong Lia, Jie Yang, Jian Song.
- [27] <https://coolhaus.es/fachada-ventilada> (consultado el 13/07/2019)
- [28] <https://www.boe.es/doue/2011/178/L00001-00072.pdf> (consultado el 16/07/2019)
- [29] https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/1997/486_97/PDFs/realdecreto4861997de14deabrilporelqueseestablecenlas.pdf (consultado el 14/07/019)
- [30] Informe de Resultados de la auditoría energética realizada en noviembre de 2016 en las oficinas ubicadas en las calles Maldonado y Conde de Peñalver, en Madrid, del Grupo Tragsa. Informe realizado por la empresa: Creara Energy Experts.
- [31] <https://www.induambiente.com/destacamos/lanzan-cargador-que-permite-a-vehiculos-electricos-compartir-energia-para-otros-usos> (consultado el 15/09/2019)

[32]<https://forococheselectricos.com/2019/02/espacio-nissan-la-tecnologia-v2g-de-nissan-asi-sera-la-recarga-inteligente-de-los-coches-electricos.html> (consultado el 15/09/2019)

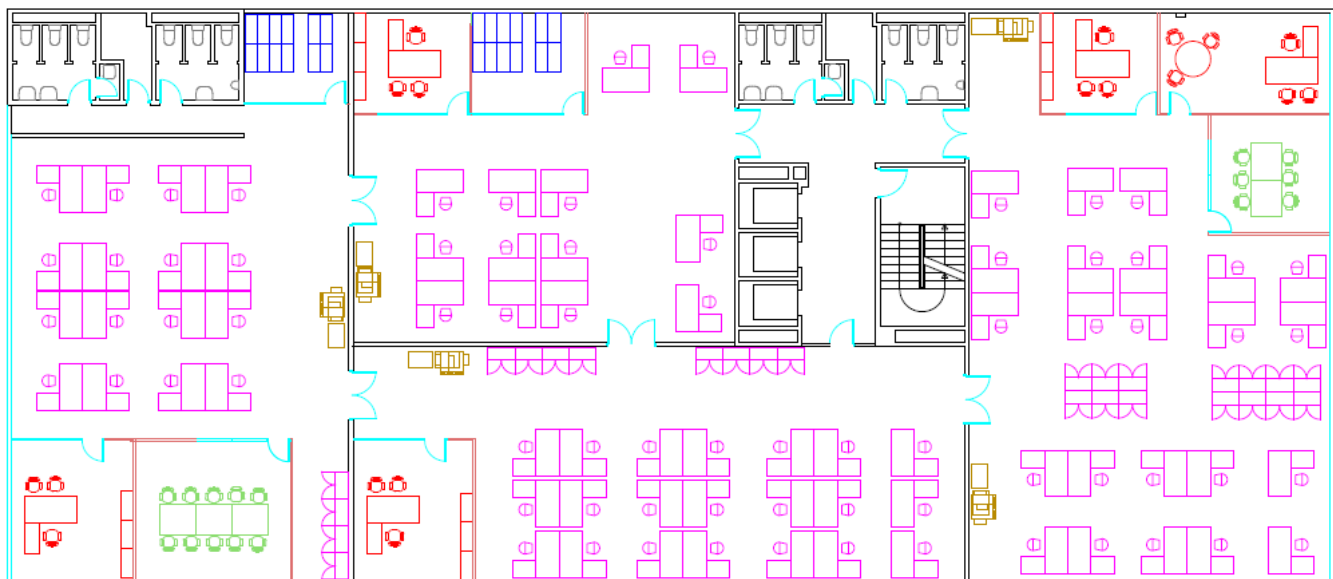
[33]<https://www.smartgridsinfo.es/2019/03/22/almacenar-compartir-energia-vehiculo-electrico-vivienda-nueva-solucion-dendo-drive-house> (consultado el 15/09/2019)

Anexo I. Planos del edificio propuesto.

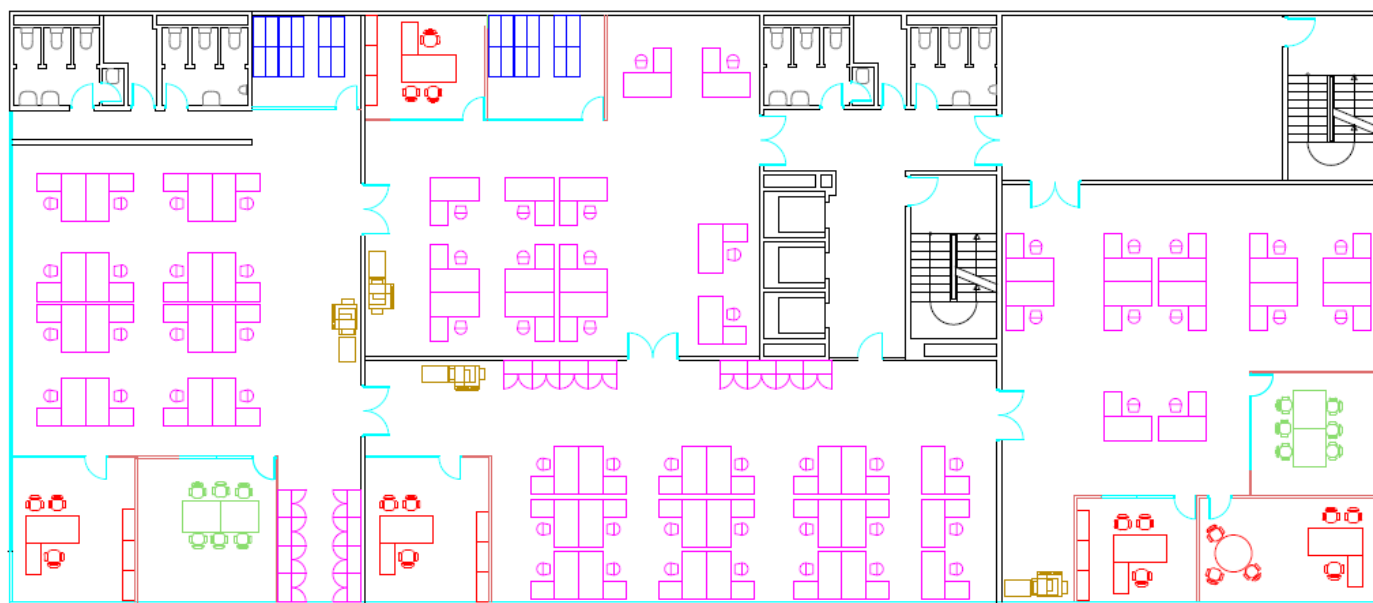
- Planta baja:



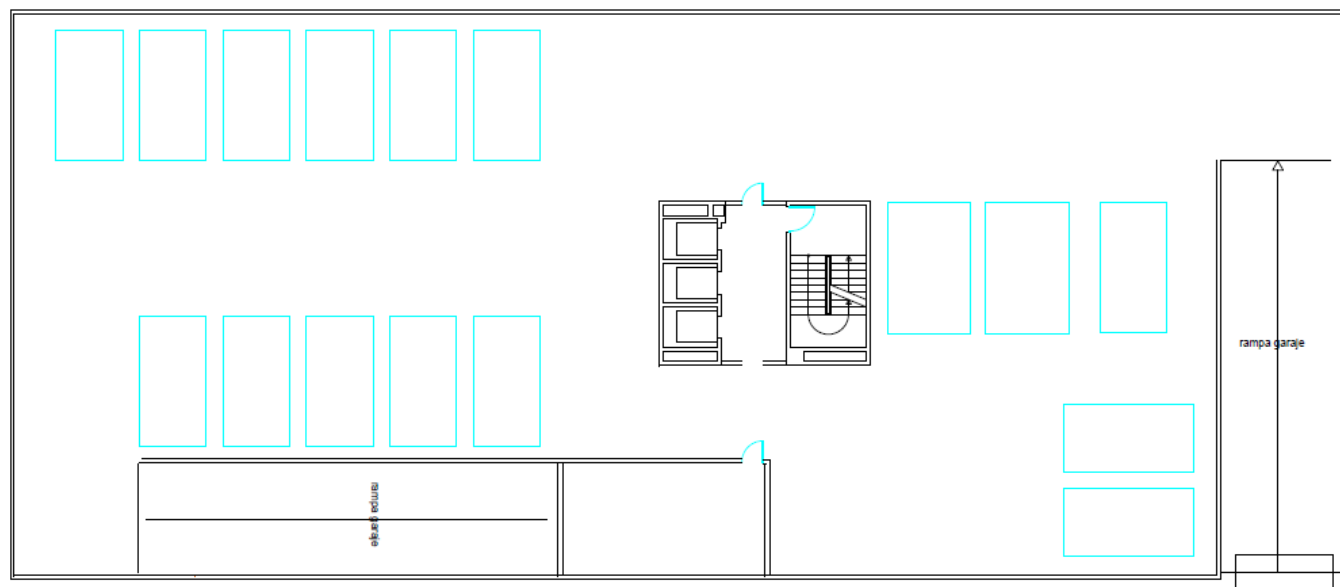
- Planta 1ª, 2ª y 3ª.



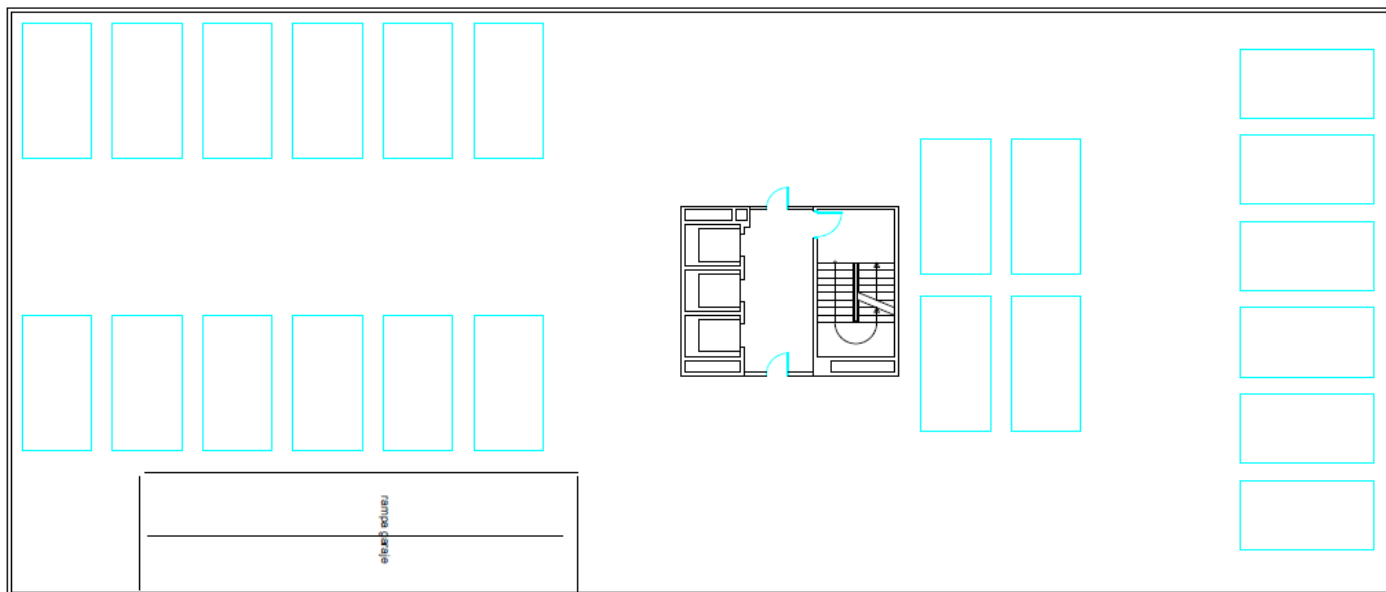
- Planta 4ª.



- Sótano -1.

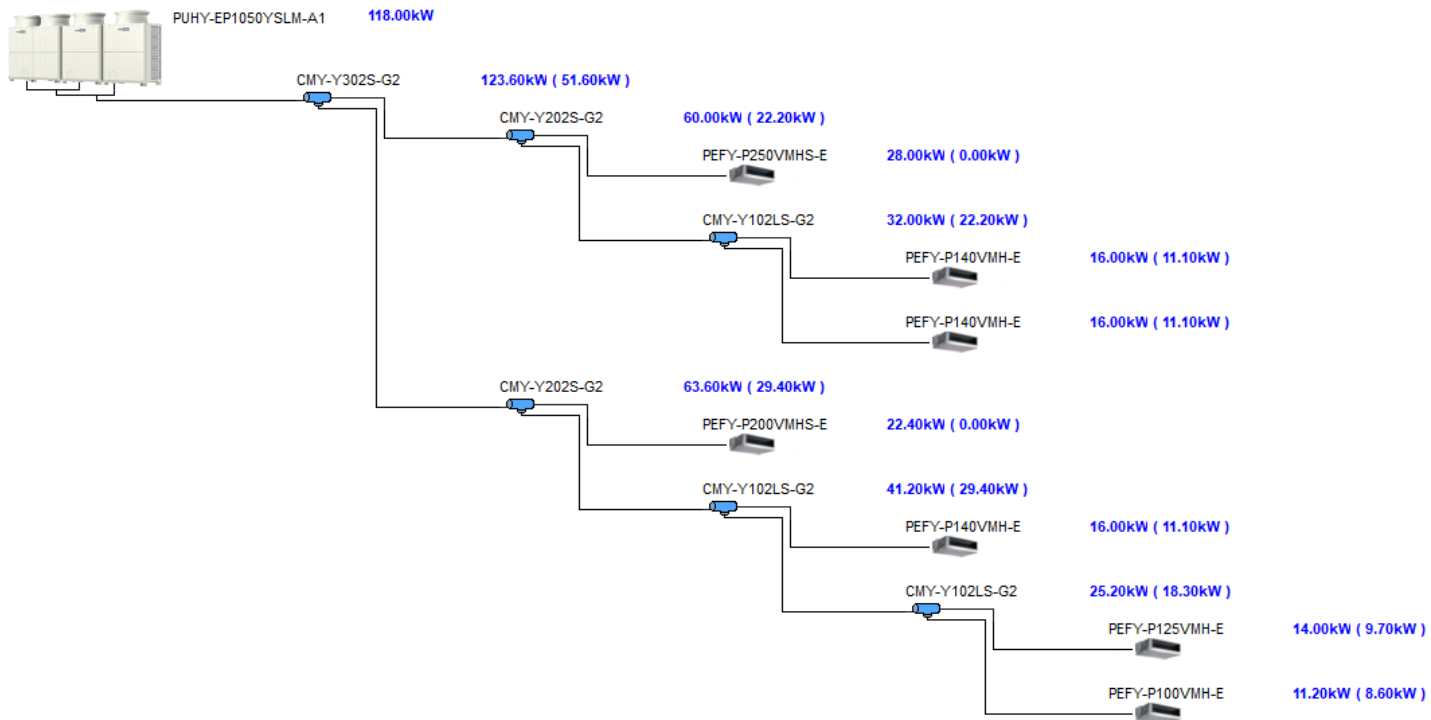


- Sótano -2.

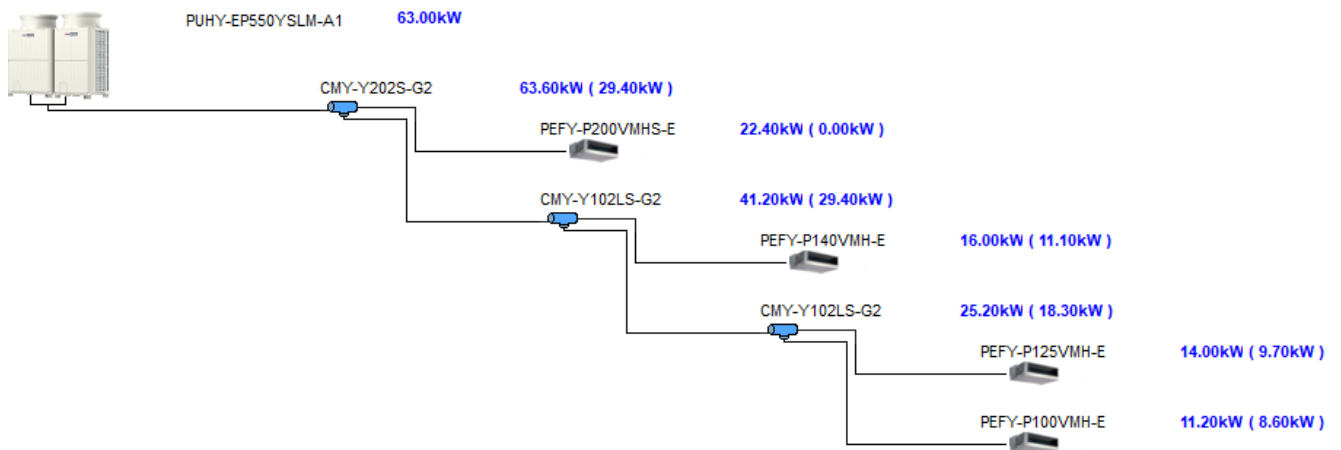


Anexo II: Esquema de principio de la instalación de climatización.

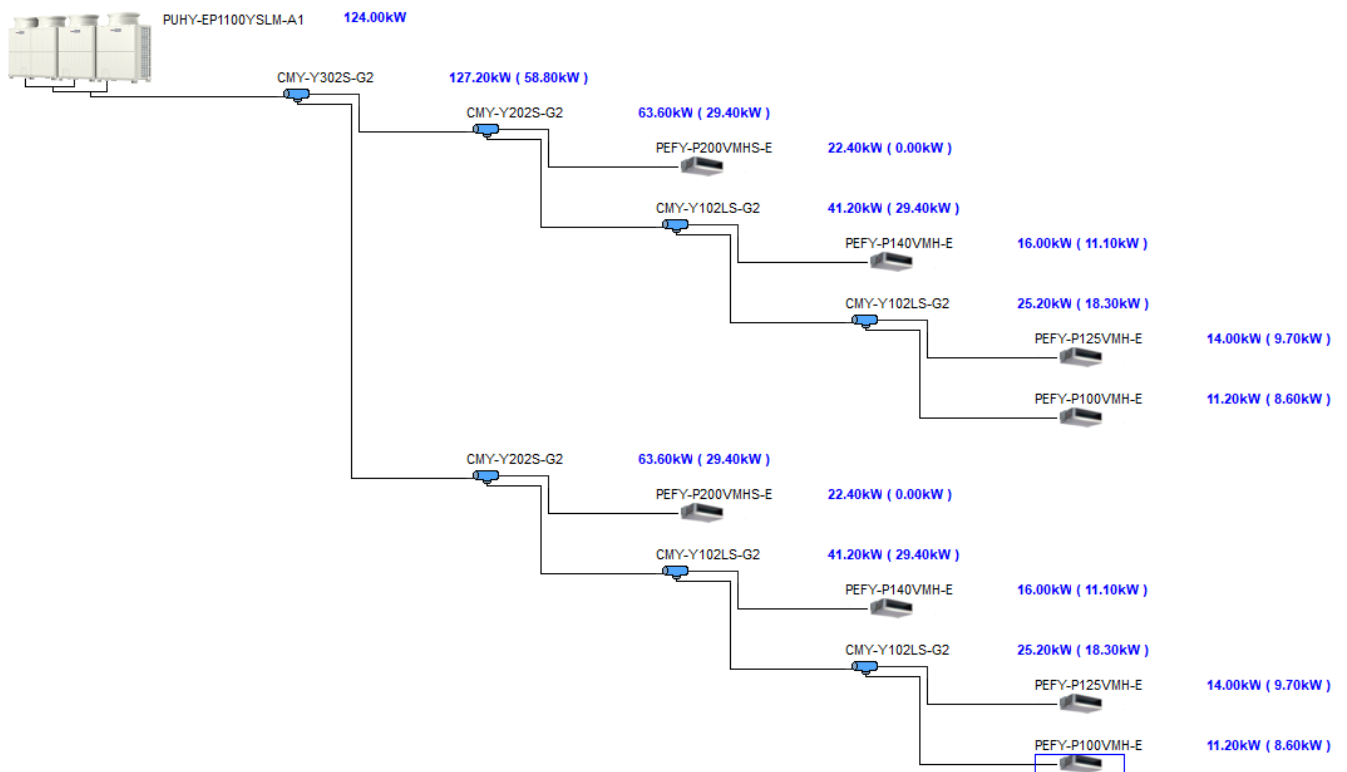
- Planta baja y planta primera:



- Planta segunda:



- Planta tercera y cuarta:



Anexo III. Hojas técnicas de los inversores seleccionados.

- Inversores Fronius ECO:

| DATOS TÉCNICOS FRONIUS ECO | | |
|--|---|----------------------|
| DATOS DE ENTRADA | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max}$) | 44,2 A | 47,7 A |
| Máxima corriente de cortocircuito por serie FV | 71,6 A | |
| Mínima tensión de entrada ($U_{dc\ min}$) | 580 V | |
| Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$) | 650 V | |
| Tensión de entrada nominal ($U_{dc\ r}$) | 580 V | |
| Máxima tensión de entrada ($U_{dc\ max}$) | 1.000 V | |
| Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$) | 580 - 850 V | |
| Número de seguidores MPP | 1 | |
| Número de entradas CC | 6 | |
| Máx. salida del generador FV ($P_{dc\ max}$) | 37,8 kW pico | |
| DATOS DE SALIDA | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$) | 25.000 W | 27.000 W |
| Máxima potencia de salida | 25.000 VA | 27.000 VA |
| Máxima corriente de salida ($I_{ac\ max}$) | 36,1 A | 39,0 A |
| Acoplamiento a la red (rango de tensión) | 3-NPE 380 V / 220 V o 3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / -30 %) | |
| Frecuencia (rango de frecuencia) | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz) | |
| Coefficiente de distorsión no lineal | < 2,0 % | |
| Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac,r}$) | 0 - 1 ind. / cap. | |
| DATOS GENERALES | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| Dimensiones (altura x anchura x profundidad) | 725 x 510 x 225 mm | |
| Peso | 35,7 kg | |
| Tipo de protección | IP 66 | |
| Clase de protección | 1 | |
| Categoría de sobretensión (CC/ CA) ¹⁾ | 1 + 2 / 3 | |
| Consumo nocturno | < 1 W | |
| Concepto de inversor | Sin transformador | |
| Refrigeración | Refrigeración de aire regulada | |
| Instalación | Instalación interior y exterior | |
| Margen de temperatura ambiente | -25 - +60 °C | |
| Humedad de aire admisible | 0 a 100 % | |
| Máxima altitud | 2.000 m | |
| Tecnología de conexión CC | Conexión de 6x CC+ y 6x CC- bornes roscados 2,5 mm ² - 16 mm ² | |
| Tecnología de conexión principal | Conexión de 5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ² | |
| Certificados y cumplimiento de normas | ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G59/3, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21 | |

¹⁾De acuerdo con IEC 62109-1. Disponible rail DIN opcional para tipo 1 + 2 y tipo 2 de protección de sobretensión.
 Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

| DATOS TÉCNICOS FRONIUS ECO | | |
|---|---|----------------------|
| RENDIMIENTO | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| Máximo rendimiento | 98,2 % | 98,3 % |
| Rendimiento europeo (η_{EU}) | 98,0 % | 98,0 % |
| η con 5 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 95,1 / 91,5 % | 95,9 / 93,1 % |
| η con 10 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 97,0 / 95,2 % | 96,8 / 95,7 % |
| η con 20 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 97,8 / 96,9 % | 97,7 / 97,1 % |
| η con 25 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 98,0 / 97,0 % | 98,1 / 97,3 % |
| η con 30 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 98,1 / 97,2 % | 98,1 / 97,4 % |
| η con 50 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 98,2 / 97,5 % | 98,3 / 97,5 % |
| η con 75 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 98,2 / 97,5 % | 98,2 / 97,6 % |
| η con 100 % $P_{ac,r}$ ¹⁾ | 98,2 / 97,5 % | 98,1 / 97,5 % |
| Rendimiento de adaptación MPP | > 99,9 % | |
| EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| Medición del aislamiento CC | Si | |
| Comportamiento de sobrecarga | Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia | |
| Seccionador CC | Si | |
| Portafusibles integrado para string ²⁾ | Si | |
| Protección contra polaridad inversa | Si | |
| INTERFACES | FRONIUS ECO 25.0-3-S | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| WLAN / Ethernet LAN | Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON) | |
| 6 inputs y 4 inputs/outputs digitales | Interface receptor del control de onda | |
| USB (Conector A) ³⁾ | Datalogging, actualización de inversores vía USB | |
| 2 conectores RJ 45 (RS422) ³⁾ | Fronius Solar Net | |
| Salida de aviso ³⁾ | Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial) | |
| Datalogger y Servidor web | Incluido | |
| Input externo ³⁾ | Conexión SO-Meter / Evaluación para la protección contra sobretensión | |
| RS485 | Modbus RTU SunSpec o conexión del contador | |

¹⁾ Y con $U_{mpp\ min} = U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$. ²⁾ Opcionalmente equipado con 6 fusibles 15 A / 1.000 V en el lado positivo. ³⁾ También disponible en la versión light.

- Inversores Fronius Symo:

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

| DATOS DE ENTRADA | SYMO 10.0-3-M | SYMO 12.5-3-M | SYMO 15.0-3-M | SYMO 17.5-3-M | SYMO 20.0-3-M |
|---|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Máxima corriente de entrada ($I_{dc \text{ máx. 1}} / I_{dc \text{ máx. 2}}$) | 27 A / 16,5 A ¹⁾ | | 33 A / 27 A | | |
| Máxima corriente de entrada total utilizada ($I_{dc \text{ máx. 1}} + I_{dc \text{ máx. 2}}$) | 43,5 A | | 51,0 A | | |
| Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP ₁ / MPP ₂) | 40,5 A / 24,8 A | | 49,5 A / 40,5 A | | |
| Mínima tensión de entrada ($U_{dc \text{ mín.}}$) | 200 V | | | | |
| Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc \text{ arranque}}$) | 200 V | | | | |
| Tensión de entrada nominal ($U_{dc \text{ n}}$) | 600 V | | | | |
| Máxima tensión de entrada ($U_{dc \text{ máx.}}$) | 1.000 V | | | | |
| Rango de tensión MPP ($U_{mpp \text{ mín.}} - U_{mpp \text{ máx.}}$) | 270 - 800 V | 320 - 800 V | | 370 - 800 V | 420 - 800 V |
| Número de seguidores MPP | 2 | | | | |
| Número de entradas CC | 3+3 | | | | |
| Máxima salida del generador FV ($P_{dc \text{ máx.}}$) | 15,0 kW _{peak} | 18,8 kW _{peak} | 22,5 kW _{peak} | 26,3 kW _{peak} | 30,0 kW _{peak} |
| DATOS DE SALIDA | SYMO 10.0-3-M | SYMO 12.5-3-M | SYMO 15.0-3-M | SYMO 17.5-3-M | SYMO 20.0-3-M |
| Potencia nominal CA ($P_{ac \text{ n}}$) | 10.000 W | 12.500 W | 15.000 W | 17.500 W | 20.000 W |
| Máxima potencia de salida | 10.000 VA | 12.500 VA | 15.000 VA | 17.500 VA | 20.000 VA |
| Máxima corriente de salida ($I_{ac \text{ máx.}}$) | 14,4 A | 18,0 A | 21,7 A | 25,3 A | 28,9 A |
| Acoplamiento a la red (rango de tensión) | 3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %) | | | | |
| Frecuencia (rango de frecuencia) | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz) | | | | |
| Coefficiente de distorsión no lineal | 1,8 % | 2,0 % | 1,5 % | 1,5 % | 1,3 % |
| Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac \text{ n}}$) | 0 - 1 ind. / cap. | | | | |
| DATOS GENERALES | SYMO 10.0-3-M | SYMO 12.5-3-M | SYMO 15.0-3-M | SYMO 17.5-3-M | SYMO 20.0-3-M |
| Dimensiones (altura x anchura x profundidad) | 725 x 510 x 225 mm | | | | |
| Peso | 34,8 kg | | 43,4 kg | | |
| Tipo de protección | IP 66 | | | | |
| Clase de protección | 1 | | | | |
| Categoría de sobretensión (CC / CA) ²⁾ | 1 + 2 / 3 | | | | |
| Consumo nocturno | < 1 W | | | | |
| Concepto de inversor | Sin Transformador | | | | |
| Refrigeración | Refrigeración de aire regulada | | | | |
| Instalación | Instalación interior y exterior | | | | |
| Margen de temperatura ambiente | -40 - +60 °C | | | | |
| Humedad de aire admisible | 0 - 100 % | | | | |
| Máxima altitud | 2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones) | | | | |
| Tecnología de conexión CC | 6 x CC+ y 6 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ² | | | | |
| Tecnología de conexión principal | 5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ² | | | | |
| Certificados y cumplimiento de normas | ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097 | | | | |

¹⁾ 14,0 A para tensiones < 420 V

²⁾ De acuerdo con IEC 62109-1. Disponible rail DIN opcional para tipo 1 + 2 y tipo 2 de protección de sobretensión.

Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

| RENDIMIENTO | SYMO 10.0-3-M | SYMO 12.5-3-M | SYMO 15.0-3-M | SYMO 17.5-3-M | SYMO 20.0-3-M |
|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Máximo rendimiento | 98,0 % | | 98,1 % | | |
| Rendimiento europeo (η_{EU}) | 97,4 % | 97,6 % | 97,8 % | 97,8 % | 97,9 % |
| η con 5 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 87,9 / 92,5 / 89,2 % | 88,7 / 93,1 / 90,1 % | 91,2 / 94,8 / 92,3 % | 91,6 / 95,0 / 92,7 % | 91,9 / 95,2 / 93,0 % |
| η con 10 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 91,2 / 94,9 / 92,8 % | 92,9 / 96,1 / 94,6 % | 93,4 / 96,0 / 94,4 % | 94,0 / 96,4 / 95,0 % | 94,8 / 96,9 / 95,8 % |
| η con 20 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 94,6 / 97,1 / 96,1 % | 95,4 / 97,3 / 96,6 % | 95,9 / 97,4 / 96,7 % | 96,1 / 97,6 / 96,9 % | 96,3 / 97,8 / 97,1 % |
| η con 25 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 95,4 / 97,3 / 96,6 % | 95,6 / 97,6 / 97,0 % | 96,2 / 97,6 / 97,0 % | 96,4 / 97,8 / 97,2 % | 96,7 / 97,9 / 97,4 % |
| η con 30 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 95,6 / 97,5 / 96,9 % | 95,9 / 97,7 / 97,2 % | 96,5 / 97,8 / 97,3 % | 96,6 / 97,9 / 97,4 % | 96,8 / 98,0 / 97,6 % |
| η con 50 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 96,3 / 97,9 / 97,4 % | 96,4 / 98,0 / 97,5 % | 96,9 / 98,1 / 97,7 % | 97,0 / 98,1 / 97,7 % | 97,0 / 98,1 / 97,8 % |
| η con 75 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 96,5 / 98,0 / 97,6 % | 96,5 / 98,0 / 97,6 % | 97,0 / 98,1 / 97,8 % | 97,0 / 98,1 / 97,8 % | 97,0 / 98,1 / 97,7 % |
| η con 100 % $P_{ac \text{ r}}$ ¹⁾ | 96,5 / 98,0 / 97,6 % | 96,5 / 97,8 / 97,6 % | 97,0 / 98,1 / 97,7 % | 96,9 / 98,1 / 97,6 % | 96,8 / 98,0 / 97,6 % |
| Rendimiento de adaptación MPP | > 99,9 % | | | | |
| EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD | SYMO 10.0-3-M | SYMO 12.5-3-M | SYMO 15.0-3-M | SYMO 17.5-3-M | SYMO 20.0-3-M |
| Medición del aislamiento CC | Sí | | | | |
| Comportamiento de sobrecarga | Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia | | | | |
| Seccionador CC | Sí | | | | |
| Protección contra polaridad inversa | Sí | | | | |
| INTERFACES | SYMO 10.0-3-M | SYMO 12.5-3-M | SYMO 15.0-3-M | SYMO 17.5-3-M | SYMO 20.0-3-M |
| WLAN / Ethernet LAN | Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON) | | | | |
| 6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales | Interface receptor del control de onda | | | | |
| USB (Conector A) ²⁾ | Datalogging, actualización de inversores vía USB | | | | |
| 2 conectores RJ 45 (RS422) ²⁾ | Fronius Solar Net | | | | |
| Salida de aviso ²⁾ | Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial) | | | | |
| Datalogger y Servidor web | Incluido | | | | |
| Input externo ²⁾ | Interface SO-Meter / Input para la protección contra sobretensión | | | | |
| RS485 | Modbus RTU SunSpec o conexión del contador | | | | |

¹⁾ Y con $U_{mpp \text{ mín.}} / U_{dc \text{ n}} / U_{mpp \text{ máx.}}$ ²⁾ También disponible en la versión light.

Anexo IV. Detalle de la producción fotovoltaica diaria.

- Día del mes de enero.

- **Alternativa 1 en cubierta (ángulo óptimo):**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 8:00 | 141 | 8,1 | 41,85 | 92,75 | 100 | 84 | 77,91 | 7,28 |
| 9:00 | 324 | 9 | 42,75 | 92,37 | 100 | 84 | 77,59 | 16,65 |
| 10:00 | 520 | 9,8 | 43,55 | 92,02 | 100 | 84 | 77,30 | 26,63 |
| 11:00 | 638 | 11,4 | 45,15 | 91,34 | 100 | 84 | 76,72 | 32,42 |
| 12:00 | 693 | 13 | 46,75 | 90,65 | 100 | 84 | 76,14 | 34,95 |
| 13:00 | 678 | 14,6 | 48,35 | 89,96 | 100 | 84 | 75,57 | 33,94 |
| 14:00 | 572 | 14,9 | 48,65 | 89,83 | 100 | 84 | 75,46 | 28,59 |
| 15:00 | 412 | 15,2 | 48,95 | 89,70 | 100 | 84 | 75,35 | 20,56 |
| 16:00 | 234 | 15,5 | 49,25 | 89,57 | 100 | 84 | 75,24 | 11,66 |
| 17:00 | 34 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 100 | 84 | 75,71 | 1,71 |

- **Alternativa 2 en cubierta (horizontal):**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 8:00 | 59 | 8,1 | 41,85 | 92,75 | 100 | 84 | 77,91 | 4,82 |
| 9:00 | 172 | 9 | 42,75 | 92,37 | 100 | 84 | 77,59 | 14,00 |
| 10:00 | 303 | 9,8 | 43,55 | 92,02 | 100 | 84 | 77,30 | 24,56 |
| 11:00 | 391 | 11,4 | 45,15 | 91,34 | 100 | 84 | 76,72 | 31,46 |
| 12:00 | 434 | 13 | 46,75 | 90,65 | 100 | 84 | 76,14 | 34,66 |
| 13:00 | 427 | 14,6 | 48,35 | 89,96 | 100 | 84 | 75,57 | 33,84 |
| 14:00 | 357 | 14,9 | 48,65 | 89,83 | 100 | 84 | 75,46 | 28,25 |
| 15:00 | 251 | 15,2 | 48,95 | 89,70 | 100 | 84 | 75,35 | 19,84 |
| 16:00 | 127 | 15,5 | 49,25 | 89,57 | 100 | 84 | 75,24 | 10,02 |
| 17:00 | 20 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 100 | 84 | 75,71 | 1,59 |

- **Fachada sureste – paneles inclinados:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 8:00 | 186 | 8,1 | 41,85 | 92,75 | 40 | 88 | 32,65 | 3,77 |
| 9:00 | 373 | 9 | 42,75 | 92,37 | 60 | 88 | 48,77 | 11,30 |
| 10:00 | 552 | 9,8 | 43,55 | 92,02 | 75 | 88 | 60,74 | 20,82 |
| 11:00 | 632 | 11,4 | 45,15 | 91,34 | 90 | 88 | 72,34 | 28,39 |
| 12:00 | 644 | 13 | 46,75 | 90,65 | 97 | 88 | 77,38 | 30,94 |
| 13:00 | 587 | 14,6 | 48,35 | 89,96 | 97 | 88 | 76,79 | 27,99 |
| 14:00 | 454 | 14,9 | 48,65 | 89,83 | 95 | 88 | 75,10 | 21,17 |
| 15:00 | 289 | 15,2 | 48,95 | 89,70 | 95 | 88 | 74,99 | 13,46 |
| 16:00 | 127 | 15,5 | 49,25 | 89,57 | 60 | 88 | 47,29 | 3,73 |
| 17:00 | 14 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |

- **Fachada sureste – paneles verticales:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 8:00 | 278 | 8,1 | 41,85 | 92,75 | 40 | 90 | 33,39 | 3,33 |
| 9:00 | 464 | 9 | 42,75 | 92,37 | 60 | 90 | 49,88 | 8,30 |
| 10:00 | 611 | 9,8 | 43,55 | 92,02 | 75 | 90 | 62,12 | 13,62 |
| 11:00 | 634 | 11,4 | 45,15 | 91,34 | 90 | 90 | 73,98 | 16,83 |
| 12:00 | 591 | 13 | 46,75 | 90,65 | 97 | 90 | 79,14 | 16,78 |
| 13:00 | 495 | 14,6 | 48,35 | 89,96 | 97 | 90 | 78,53 | 13,95 |
| 14:00 | 348 | 14,9 | 48,65 | 89,83 | 95 | 90 | 76,81 | 9,59 |
| 15:00 | 194 | 15,2 | 48,95 | 89,70 | 95 | 90 | 76,69 | 5,34 |
| 16:00 | 64 | 15,5 | 49,25 | 89,57 | 60 | 90 | 48,37 | 1,11 |
| 17:00 | 7 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |

- **Fachada suroeste – paneles inclinados:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 8:00 | 34 | 8,1 | 41,85 | 92,75 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 9:00 | 121 | 9 | 42,75 | 92,37 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 10:00 | 281 | 9,8 | 43,55 | 92,02 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 11:00 | 422 | 11,4 | 45,15 | 91,34 | 60 | 88 | 48,23 | 7,30 |
| 12:00 | 525 | 13 | 46,75 | 90,65 | 94 | 88 | 74,98 | 14,12 |
| 13:00 | 574 | 14,6 | 48,35 | 89,96 | 94 | 88 | 74,41 | 15,33 |
| 14:00 | 538 | 14,9 | 48,65 | 89,83 | 85 | 88 | 67,19 | 12,97 |
| 15:00 | 434 | 15,2 | 48,95 | 89,70 | 65 | 88 | 51,31 | 7,99 |
| 16:00 | 286 | 15,5 | 49,25 | 89,57 | 40 | 88 | 31,53 | 3,24 |
| 17:00 | 50 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |

- **Fachada sureste – paneles verticales:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 8:00 | 17 | 8,1 | 41,85 | 92,75 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 9:00 | 36 | 9 | 42,75 | 92,37 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 10:00 | 71 | 9,8 | 43,55 | 92,02 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 11:00 | 233 | 11,4 | 45,15 | 91,34 | 60 | 90 | 49,32 | 1,74 |
| 12:00 | 385 | 13 | 46,75 | 90,65 | 94 | 90 | 76,69 | 4,48 |
| 13:00 | 512 | 14,6 | 48,35 | 89,96 | 94 | 90 | 76,11 | 5,92 |
| 14:00 | 564 | 14,9 | 48,65 | 89,83 | 85 | 90 | 68,72 | 5,88 |
| 15:00 | 531 | 15,2 | 48,95 | 89,70 | 65 | 90 | 52,48 | 4,23 |
| 16:00 | 423 | 15,5 | 49,25 | 89,57 | 40 | 90 | 32,25 | 2,07 |
| 17:00 | 83 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |

- Día del mes de agosto.

- **Alternativa 1 en cubierta (ángulo óptimo):**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 6:00 | 32 | 22,3 | 56,05 | 86,65 | 100 | 84 | 72,78 | 1,54 |
| 7:00 | 185 | 22,2 | 55,95 | 86,69 | 100 | 84 | 72,82 | 8,92 |
| 8:00 | 403 | 23,9 | 57,65 | 85,96 | 100 | 84 | 72,21 | 19,28 |
| 9:00 | 607 | 25,6 | 59,35 | 85,23 | 100 | 84 | 71,59 | 28,79 |
| 10:00 | 783 | 27,2 | 60,95 | 84,54 | 100 | 84 | 71,01 | 36,83 |
| 11:00 | 895 | 28,3 | 62,05 | 84,07 | 100 | 84 | 70,62 | 41,87 |
| 12:00 | 939 | 29,5 | 63,25 | 83,55 | 100 | 84 | 70,18 | 43,65 |
| 13:00 | 908 | 30,6 | 64,35 | 83,08 | 100 | 84 | 69,79 | 41,97 |
| 14:00 | 811 | 30,8 | 64,55 | 82,99 | 100 | 84 | 69,71 | 37,45 |
| 15:00 | 656 | 30,9 | 64,65 | 82,95 | 100 | 84 | 69,68 | 30,28 |
| 16:00 | 453 | 31,1 | 64,85 | 82,86 | 100 | 84 | 69,61 | 20,89 |
| 17:00 | 233 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 100 | 84 | 75,71 | 11,69 |
| 18:00 | 52 | 28,9 | 62,65 | 83,81 | 100 | 84 | 70,40 | 2,42 |
| 19:00 | 6 | 27,7 | 61,45 | 84,33 | 100 | 84 | 70,83 | 0,28 |

- **Alternativa 2 en cubierta (horizontal):**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 6:00 | 64 | 22,3 | 56,05 | 86,65 | 100 | 84 | 72,78 | 4,89 |
| 7:00 | 210 | 22,2 | 55,95 | 86,69 | 100 | 84 | 72,82 | 16,04 |
| 8:00 | 401 | 23,9 | 57,65 | 85,96 | 100 | 84 | 72,21 | 30,37 |
| 9:00 | 573 | 25,6 | 59,35 | 85,23 | 100 | 84 | 71,59 | 43,02 |
| 10:00 | 721 | 27,2 | 60,95 | 84,54 | 100 | 84 | 71,01 | 53,70 |
| 11:00 | 820 | 28,3 | 62,05 | 84,07 | 100 | 84 | 70,62 | 60,73 |
| 12:00 | 861 | 29,5 | 63,25 | 83,55 | 100 | 84 | 70,18 | 63,38 |
| 13:00 | 842 | 30,6 | 64,35 | 83,08 | 100 | 84 | 69,79 | 61,63 |
| 14:00 | 769 | 30,8 | 64,55 | 82,99 | 100 | 84 | 69,71 | 56,23 |
| 15:00 | 646 | 30,9 | 64,65 | 82,95 | 100 | 84 | 69,68 | 47,21 |
| 16:00 | 480 | 31,1 | 64,85 | 82,86 | 100 | 84 | 69,61 | 35,04 |
| 17:00 | 290 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 100 | 84 | 75,71 | 23,03 |
| 18:00 | 115 | 28,9 | 62,65 | 83,81 | 100 | 84 | 70,40 | 8,49 |
| 19:00 | 7 | 27,7 | 61,45 | 84,33 | 100 | 84 | 70,83 | 0,52 |

- **Fachada sureste – paneles inclinados:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 6:00 | 121 | 22,3 | 56,05 | 86,65 | 50 | 88 | 38,13 | 2,86 |
| 7:00 | 319 | 22,2 | 55,95 | 86,69 | 60 | 88 | 45,77 | 9,07 |
| 8:00 | 556 | 23,9 | 57,65 | 85,96 | 70 | 88 | 52,95 | 18,28 |
| 9:00 | 740 | 25,6 | 59,35 | 88,23 | 85 | 88 | 66,00 | 30,33 |
| 10:00 | 876 | 27,2 | 60,95 | 87,54 | 95 | 88 | 73,18 | 39,81 |
| 11:00 | 936 | 28,3 | 62,05 | 87,07 | 95 | 88 | 72,79 | 42,31 |
| 12:00 | 922 | 29,5 | 63,25 | 86,55 | 97 | 88 | 73,88 | 42,30 |
| 13:00 | 836 | 30,6 | 64,35 | 86,08 | 97 | 88 | 73,48 | 38,15 |
| 14:00 | 692 | 30,8 | 64,55 | 85,99 | 95 | 88 | 71,89 | 30,89 |
| 15:00 | 503 | 30,9 | 64,65 | 85,95 | 90 | 88 | 68,07 | 21,26 |
| 16:00 | 291 | 31,1 | 64,85 | 85,86 | 75 | 88 | 56,67 | 10,24 |
| 17:00 | 92 | 14,2 | 47,95 | 93,13 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 18:00 | 45 | 28,9 | 62,65 | 86,81 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 19:00 | 6 | 27,7 | 61,45 | 87,33 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |

- **Fachada sureste – paneles verticales:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 6:00 | 146 | 22,3 | 56,05 | 86,65 | 50 | 90 | 38,99 | 2,04 |
| 7:00 | 305 | 22,2 | 55,95 | 86,69 | 60 | 90 | 46,81 | 5,12 |
| 8:00 | 468 | 23,9 | 57,65 | 85,96 | 70 | 90 | 54,16 | 9,09 |
| 9:00 | 557 | 25,6 | 59,35 | 85,23 | 85 | 90 | 65,20 | 13,03 |
| 10:00 | 590 | 27,2 | 60,95 | 84,54 | 95 | 90 | 72,28 | 15,30 |
| 11:00 | 555 | 28,3 | 62,05 | 84,07 | 95 | 90 | 71,88 | 14,31 |
| 12:00 | 466 | 29,5 | 63,25 | 83,55 | 97 | 90 | 72,94 | 12,20 |
| 13:00 | 334 | 30,6 | 64,35 | 83,08 | 97 | 90 | 72,53 | 8,69 |
| 14:00 | 161 | 30,8 | 64,55 | 82,99 | 95 | 90 | 70,96 | 4,10 |
| 15:00 | 66 | 30,9 | 64,65 | 82,95 | 90 | 90 | 67,19 | 1,59 |
| 16:00 | 56 | 31,1 | 64,85 | 82,86 | 75 | 90 | 55,93 | 1,12 |
| 17:00 | 43 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 18:00 | 23 | 28,9 | 62,65 | 83,81 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 19:00 | 3 | 27,7 | 61,45 | 84,33 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |

- **Fachada suroeste – paneles inclinados:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 6:00 | 35 | 22,3 | 56,05 | 86,65 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 7:00 | 76 | 22,2 | 55,95 | 86,69 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 8:00 | 175 | 23,9 | 57,65 | 85,96 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 9:00 | 372 | 25,6 | 59,35 | 85,23 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 10:00 | 573 | 27,2 | 60,95 | 84,54 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 11:00 | 743 | 28,3 | 62,05 | 84,07 | 0 | 88 | 0,00 | 0,00 |
| 12:00 | 862 | 29,5 | 63,25 | 83,55 | 94 | 88 | 69,11 | 21,38 |
| 13:00 | 918 | 30,6 | 64,35 | 83,08 | 94 | 88 | 68,72 | 22,64 |
| 14:00 | 909 | 30,8 | 64,55 | 82,99 | 94 | 88 | 68,65 | 22,39 |
| 15:00 | 832 | 30,9 | 64,65 | 82,95 | 90 | 88 | 65,70 | 19,61 |
| 16:00 | 681 | 31,1 | 64,85 | 82,86 | 85 | 88 | 61,98 | 15,15 |
| 17:00 | 466 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 85 | 88 | 67,42 | 11,27 |
| 18:00 | 232 | 28,9 | 62,65 | 83,81 | 85 | 88 | 62,69 | 5,22 |
| 19:00 | 10 | 27,7 | 61,45 | 84,33 | 85 | 88 | 63,08 | 0,23 |

- **Fachada sureste – paneles verticales:**

| Hora | G(W/m2) | T _a | Temperatura célula (°C) | Rendimiento temperatura | Rendimiento sombras | Resto de rendimientos | RENDIMIENTO TOTAL | Energía producida (kWh) |
|-------|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 6:00 | 17 | 22,3 | 56,05 | 86,65 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 7:00 | 38 | 22,2 | 55,95 | 86,69 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 8:00 | 54 | 23,9 | 57,65 | 85,96 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 9:00 | 65 | 25,6 | 59,35 | 85,23 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 10:00 | 74 | 27,2 | 60,95 | 84,54 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 11:00 | 96 | 28,3 | 62,05 | 84,07 | 0 | 90 | 0,00 | 0,00 |
| 12:00 | 315 | 29,5 | 63,25 | 83,55 | 94 | 90 | 70,69 | 3,38 |
| 13:00 | 480 | 30,6 | 64,35 | 83,08 | 94 | 90 | 70,29 | 5,12 |
| 14:00 | 599 | 30,8 | 64,55 | 82,99 | 94 | 90 | 70,21 | 6,38 |
| 15:00 | 661 | 30,9 | 64,65 | 82,95 | 90 | 90 | 67,19 | 6,74 |
| 16:00 | 641 | 31,1 | 64,85 | 82,86 | 85 | 90 | 63,39 | 6,17 |
| 17:00 | 519 | 14,2 | 47,95 | 90,13 | 85 | 90 | 68,95 | 5,43 |
| 18:00 | 317 | 28,9 | 62,65 | 83,81 | 85 | 90 | 64,12 | 3,09 |
| 19:00 | 12 | 27,7 | 61,45 | 84,33 | 85 | 90 | 64,51 | 0,12 |

Anexo V. Detalle del consumo diario del edificio.

- Día del mes de enero.

| | Climatización (kWh) | Ventilación (kWh) | ACS (kWh) | Iluminación (kWh) | Equipos (kWh) | Extracción aseos (kWh) | Extracción garajes (kWh) | Ascensores (kWh) | TOTAL (kWh) |
|--------------|------------------------|----------------------|--------------|----------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|
| 3:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 4:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 5:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 6:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 7:00 | 17,97 | 8,44 | 0,97 | 19,85 | 23,36 | 0,50 | 3,38 | 2,54 | 77,00 |
| 8:00 | 17,72 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,39 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,73 |
| 9:00 | 17,47 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,97 |
| 10:00 | 16,97 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,47 |
| 11:00 | 16,72 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,22 |
| 12:00 | 16,59 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,09 |
| 13:00 | 16,47 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 95,97 |
| 14:00 | 16,47 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,39 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 95,48 |
| 15:00 | 16,59 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,39 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 95,60 |
| 16:00 | 16,59 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,09 |
| 17:00 | 16,72 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,22 |
| 18:00 | 16,72 | 11,26 | 0,00 | 19,85 | 39,88 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 92,21 |
| 19:00 | 16,84 | 8,44 | 0,00 | 19,85 | 23,36 | 0,00 | 3,38 | 0,00 | 71,87 |
| 20:00 | 0,00 | 8,44 | 0,00 | 19,85 | 23,36 | 0,00 | 3,38 | 0,00 | 55,03 |
| 21:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 7,32 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 9,01 |
| 22:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 23:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| TOTAL | 219,80 | 154,77 | 10,67 | 277,97 | 576,09 | 5,50 | 70,88 | 27,94 | 1343,61 |

- Día del mes de agosto.

| | Climatización (kWh) | Ventilación (kWh) | ACS (kWh) | Iluminación (kWh) | Equipos (kWh) | Extracción aseos (kWh) | Extracción garajes (kWh) | Ascensores (kWh) | TOTAL (kWh) |
|--------------|------------------------|----------------------|--------------|----------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|
| 1:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 2:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 3:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 4:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 5:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 6:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 7:00 | 15,47 | 8,44 | 0,97 | 19,85 | 23,36 | 0,50 | 3,38 | 2,54 | 74,50 |
| 8:00 | 16,22 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,39 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 95,23 |
| 9:00 | 16,72 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,22 |
| 10:00 | 17,22 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,72 |
| 11:00 | 17,47 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 96,97 |
| 12:00 | 18,22 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 97,72 |
| 13:00 | 18,47 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 97,97 |
| 14:00 | 18,59 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,39 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 97,60 |
| 15:00 | 18,22 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,39 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 97,23 |
| 16:00 | 17,97 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 97,47 |
| 17:00 | 17,72 | 11,26 | 0,97 | 19,85 | 39,88 | 0,50 | 4,50 | 2,54 | 97,22 |
| 18:00 | 17,47 | 11,26 | 0,00 | 19,85 | 39,88 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 92,96 |
| 19:00 | 17,22 | 8,44 | 0,00 | 19,85 | 23,36 | 0,00 | 3,38 | 0,00 | 72,24 |
| 20:00 | 0,00 | 8,44 | 0,00 | 19,85 | 23,36 | 0,00 | 3,38 | 0,00 | 55,03 |
| 21:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 22:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| 23:00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 6,83 | 0,00 | 1,13 | 0,00 | 8,52 |
| TOTAL | 226,92 | 154,77 | 10,67 | 277,97 | 575,60 | 5,50 | 70,88 | 27,94 | 1350,25 |